



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

EVALUAČNÍ PLATFORMA PRO ŘÍZENÍ MATICOVÝCH SVĚTLOMETŮ

PIXEL CONTROLLER EVALUATION PLATFORM FOR AUTOMOTIVE FRONT-LIGHTING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Andrej Vlasatý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

BRNO 2019

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Mikroelektronika**
Ústav mikroelektroniky

Student: Bc. Andrej Vlasatý

ID: 173778

Ročník: 2

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Evaluační platforma pro řízení maticových světlometů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Podrobně se seznámte s integrovanými obvody pro řízení předních světlometů od firmy ON Semiconductor. Zaměřte se zejména na systémovou architekturu a možnosti komunikačních rozhraní pro řízení maticových světlometů. Navrhnete základní obvodové zapojení řídicího obvodu maticových světlometů NCV78343 a porovnejte s první generací obvodu pro řízení maticových světlometů NCV78247. Navržené zařízení realizujte, vytvořte ovládací software a ověřte jeho funkčnost vhodným měřením jednotlivých parametrů. Ověřte schopnost komunikace více modulů v různých konfiguracích (dva a více integrovaných obvodů).

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 21.5.2019

Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Lukáš Fucík, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá problematikou predných LED svetlometov v automobilovom priemysle, venuje sa možnosti ich napájania a ovládania. Teoretická časť popisuje súčiastku NCV78343, jej parametre a komunikačné rozhrania. Praktická časť je rozdelená do troch kapitol. Prvá kapitola zobrazuje návrh evaluačnej platformy, jednotlivé funkčné bloky a možnosti systémovej architektúry. Druhá kapitola sa venuje realizácií ovládacieho softvéru a v poslednej časti sú zobrazené merania, ktoré boli vykonané na evaluačnej doske. Na záver sú zhrnuté dosiahnuté výsledky.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

NCV78343, maticové LED svetlomety, PXN protokol

ABSTRACT

This thesis deals with the front LED headlamps in the automotive industry. This paper describes the supply options and how to control these headlamps. The theoretical part describes the parameters and communication interfaces of the NCV78343 device. The practical part is divided into three chapters. The first chapter focuses on the design of the evaluation platform, the functional blocks and the configuration options. The second chapter deals with the implementation of the control software and the last part shows the measurements that were made on the evaluation board. At the end, obtained results are summarized.

KEYWORDS

NCV78343, matrix LED headlights, PXN protocol

VLASATÝ, Andrej. *Evaluační platforma pro řízení maticových světlometů*. Brno, 2019, 80 s. Diplomová práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky. Vedúci práce: doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

VYHLÁSENIE

Vyhlasujem, že som svoju diplomovú prácu na tému „Evaluační platforma pro řízení maticových světlometů“ vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce, využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej diplomovej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcemu diplomovej práce, pánovi Ing. Jiřímu Danielovi z firmy ON Semiconductor a akademickému vedúcemu Ing. Pavlovi Šteffanovi, Ph.D. za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a podnetné návrhy k práci. Ďalej by som rád poďakoval firme ON Semiconductor za možnosť vedenia tejto diplomovej práce.

Brno

.....

podpis autora

POĎAKOVANIE

Výskum popísaný v tejto diplomovej práci bol realizovaný v laboratóriách podporených projektom SIX; registračné číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operačný program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno

.....

podpis autora

Obsah

| | |
|---|-----------|
| Úvod | 9 |
| 1 Rešerš | 10 |
| 1.1 LED svetlomet | 11 |
| 1.2 Technológie LED svetlometov | 12 |
| 1.2.1 Systém aktívnych predných svetlometov - AFS | 12 |
| 1.2.2 Intel - chytrý svetlomet | 15 |
| 1.2.3 Animačné funkcie | 17 |
| 1.3 Centrálna elektronická jednotka | 18 |
| 1.3.1 Návrh BCM jednotky | 20 |
| 1.3.2 Napájanie BCM jednotky | 20 |
| 1.3.3 Bezpečnosť BCM jednotky | 22 |
| 1.3.4 Bezdrôtové BCM jednotky | 24 |
| 2 Teoretická časť | 25 |
| 2.1 Popis obvodu NCV78343 | 25 |
| 2.1.1 LVDS zbernica | 28 |
| 2.1.2 PXN protokol | 29 |
| 2.2 Fyzické komunikačné rozhrania | 30 |
| 2.3 Systémová architektúra | 32 |
| 3 Návrh evaluačnej dosky | 35 |
| 3.1 Blok napájania | 36 |
| 3.2 Procesor | 39 |
| 3.3 Obvod NCV78343 | 39 |
| 3.4 Zvyšujúci menič | 40 |
| 3.5 Bloková schéma | 40 |
| 4 Návrh ovládacieho softvéru | 42 |
| 5 Meranie parametrov súčiastky | 50 |
| 5.1 Prúdová spotreba obvodu | 50 |
| 5.2 PXN komunikácia | 53 |
| 5.3 Stmievanie tranzistormi | 54 |
| 5.4 Diagnostické status bity | 55 |

| | |
|---|-----------|
| 5.5 Watchdog timer | 55 |
| 6 Záver | 57 |
| Literatúra | 59 |
| Zoznam symbolov, veličín a skratiek | 61 |
| Zoznam príloh | 66 |
| A Schéma evaluačnej dosky | 67 |
| B Čítanie operačného módu pri rýchlosti 125 kbps | 72 |
| C Oneskorenie dát z UART na LVDS zbernicu | 74 |
| D Wired or mód pri predĺženom prerušení | 75 |
| E Dimovanie jasu LED | 77 |
| F Diagnostické bity | 79 |
| G Watchdog timer | 80 |

Úvod

Táto práca sa zaoberá problematikou svetelných zdrojov v automobilovom priemysle. Dnes každé vozidlo musí byť vybavené niekoľkými typmi svetelných zdrojov. Medzi základné a povinné patria svetlá: smerové, obrysové, stretávacie, hmlové a diaľkové svetlá. Jednotlivé svetlomety prichádzajú v dnešnej dobe moderných áut s množstvom automatizovaných funkcií, ktoré zvyšujú bezpečnosť a zlepšujú viditeľnosť pre šoféra v nočnej premávke. Okrem základných nastavení, ako napr. nastavenie sklonu svetlometov, prichádzajú na trh adaptívne svetlomety AFS (Systém aktívnych predných svetlometov - Adaptive Front Lightning System), ktoré sa dokážu prispôbiť vozovke a jej aktuálnemu stavu. Množstvo výrobcov prichádza s novými a inovatívnymi riešeniami chytrých svetlometov. Medzi ne možno napríklad zaradiť vývoj firmy Intel s Carnegie-Mellon univerzitou, ktorí pracujú na svetlometoch so zlepšenou viditeľnosťou za dažďa a sneženia. Systém pracuje na princípe, že potlačuje spätné oslnenie vodiča odrazeným svetlom z padajúcich kvapiek dažďa, respektíve snehových vločiek.

S danými inováciami prichádza požiadavka o vysoko účinné systémy napájania a možnosť ovládania jednotlivé LED (Luminiscenčná dióda - Light-emitting diode) pixely. Práca podrobnejšie popisuje portfólio integrovaných obvodov pre riadenie predných svetlometov firmy ON Semiconductor.

Text sa rozdeľuje do 5 kapitol. V prvej kapitole je popísaný rešerš a jednotlivé funkcie predných svetlometov, na ktoré sa práca zameriava. Zobrazuje históriu svetlometov, aktuálne trendy a dôvod použitia LED svetlometov. Nasleduje teoretická časť, ktorá popisuje vnútorné zapojenie a funkčné bloky pixel kontroléru NCV78343. Zaoberá sa výhodami druhej generácie pixel kontroléru firmy ON Semiconductor a popisuje možnosti zapojenia v systémovej architektúre. V ďalších 3 kapitolách je uvedené vlastné obvodové riešenie s použitím súčiastky NCV78343. Jednotlivé časti popisujú návrh evaluačnej dosky v návrhovom systéme Altium Designer. Druhá časť popisuje ovládací softvér navrhnutý v QT Creator a jej ovládanie. Posledná tretia časť zobrazuje merania parametrov súčiastky.

Na záver sú zhrnuté dosiahnuté výsledky, ich konštatovanie, prípadne porovnanie s predchádzajúcou generáciou.

1 Rešerš

Rešerš poskytuje prehľadné informácie o konštrukčných riešeniach predných svetlometov a o použitých technológiách pre prenos svetla na vozovku. V praxi existujú tri základné typy zdroje svetla vo vozidlách: halogénové svetlá, xenónové svetlá a LED svetlá.

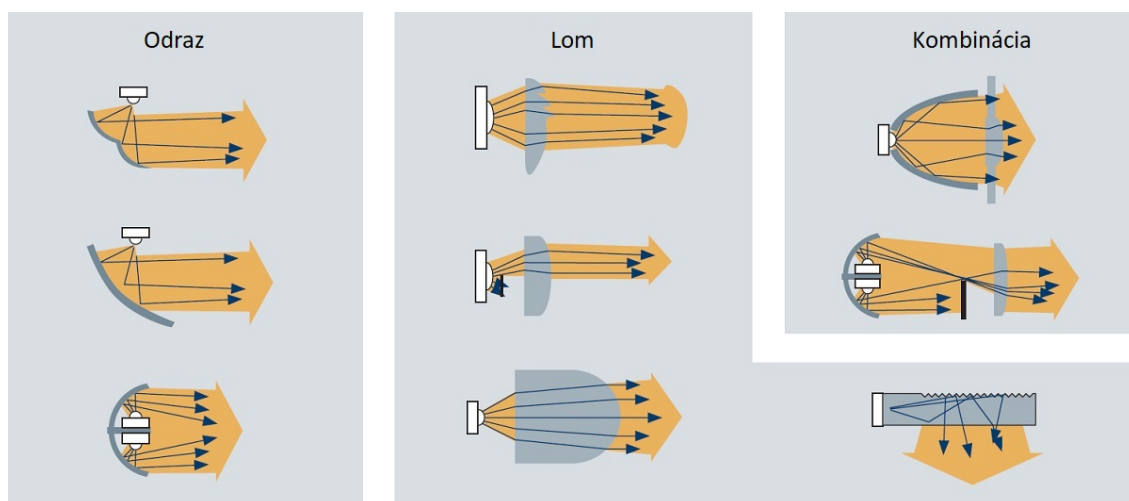
1. Halogénové svetlá - ide o sklenenú žiarovku, ktorá obsahuje wolfrámové vlákno a malé množstvo halogénového plynu. Na vlákno je privedené napätie, ktoré zahrieva toto wolfrámové vlákno na teplotu až 2500 °C a dochádza k wolfram halogénovému efektu. Medzi výhody patrí dlhá životnosť a možnosť výroby žiaroviek pre akékoľvek použitie a modely. Ako hlavné nevýhody sú neefektívnosť takéhoto procesu, taktiež environmentálne zaťaženie pri výrobe alebo poškodeniu takejto žiarovky pri manipulácii, čo môže dôjsť k rozbitiu sklenej banky a ublíženiu na zdraví.
2. Xenónové svetlá - taktiež známe ako výbojky s vysokou svietivosťou. Podstata xenónových svetiel je vo vzniku výboja medzi dvoma elektródami. Podobne ako u halogénových svetiel pozostávajú z banky, ktorá obsahuje plyn xenón. Medzi hlavné výhody patrí väčšia efektívnosť, než u halogénových svetiel a dlhšia životnosť. S týmto tiež prichádza aj väčšia svietivosť a možný pracovný rozsah. Dôvod prečo tento zdroj svetla nie je tak bežný, je že xenónové svetlá vytvárajú až veľkú žiaru, približne 3x väčšiu než halogénové svetlá, ktorá vo veľkej miere oslňuje ostatných účastníkov premávky. Väčšia svietivosť so sebou prináša zvýšené legislatívne nároky ¹ aby sa obmedzilo nežiadúcemu oslneniu ostatných účastníkov premávky. Zároveň vysoká cena v spojení s materiálovými nákladmi pri výrobe udáva nižšie percento použitia týchto svetiel vo vozidlách. Veľká nevýhoda xenónových svetiel spočíva v ich podstate a to, že vyžadujú špeciálne obvody pre vytvorenie napätového zápalného pulzu.
3. LED svetlá - dióda, ktorá emituje fotóny svetla pri prechode prúdu súčiastkou. Eliminuje všetky nevýhody predchádzajúcich riešení, nie sú potrebné sklenené banky, vysoké napätia ani prúdy. Veľká variácia modelov, ako napríklad farba, veľkosť, a až 5-násobná väčšia životnosť sú hlavnými výhodami takýchto svetlometov. Taktiež veľkou výhodou, prečo sú používané v automobilovom priemysle je, že LED je možné umiestniť takmer kdekoľvek, nie sú potrebné špeciálne podporné obvody a sú odolné voči vibráciám.

¹Nároky sú popísané v Evropské hospodárske komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 48 a č. 98.

Z predchádzajúceho popisu vyplýva, že LED svetlomety prinášajú väčšie množstvo výhod než predchádzajúce technologické riešenia. Práca sa ďalej zaoberá použitím LED svetlometov. [19]

1.1 LED svetlomet

Existuje veľké množstvo technologických riešení svetlometov. Jedno z najpodstatnejších rozdelení je spôsob premietania svetla na vozovku. Základné tri spôsoby sú zobrazené na obrázku 1.1. Je to premietanie svetla odrazom, lomom alebo ich kombináciou. Pri premietaní svetla odrazom svieti zdroj svetla na odrazovú plochu, ktorá odráža a tvaruje svetelné lúče do požadovaného smeru. Premietanie svetla lomom využíva optické vlastnosti šošovky. Tá zaostruje a láme svetelné lúče do priestoru pred vozidlom. Tretí spôsob kombinuje obe vyššie uvedené techniky. [6]



Obr. 1.1: Spôsoby premietania svetla na vozovku [6]

Tieto techniky môžu byť rôzne využívané vo všetkých typoch svetiel automobilu. Ukážku je možné vidieť na obrázku 1.2, kde sú zobrazené stretávacie svetlá, diaľkové svetlá a smerové svetlá.



Obr. 1.2: Funkcie predného svetlometu [6]

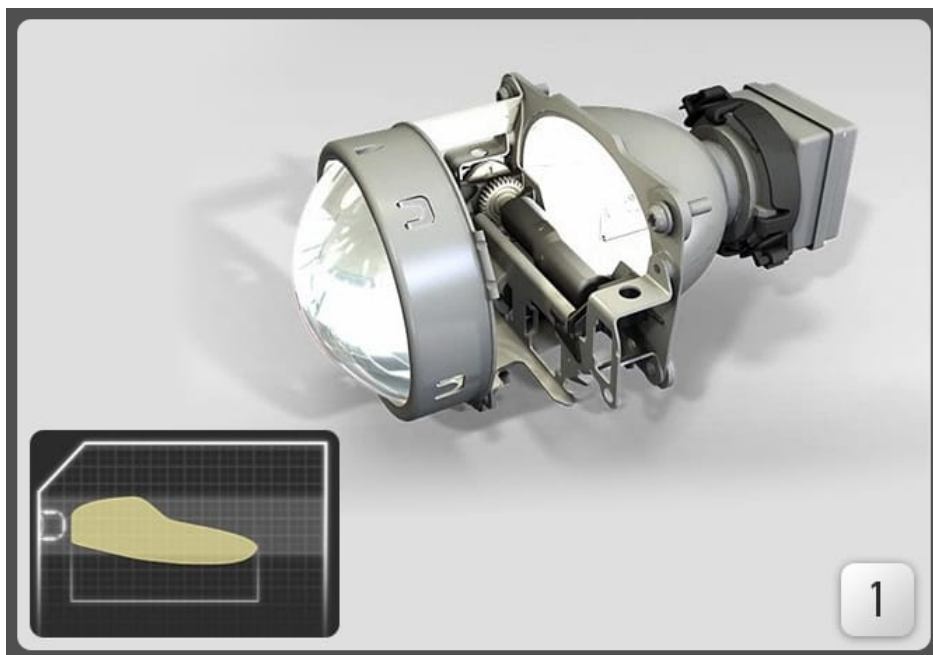
1.2 Technológie LED svetlometov

Kapitola popisuje možnosti použitia LED svetlometov v automobilovom priemysle. Ide o použitie systému aktívnych svetlometov, prípadne animačné funkcie pri odomknutí/zamknutí vozidla a animácie aplikované na svetle denného svietenia.

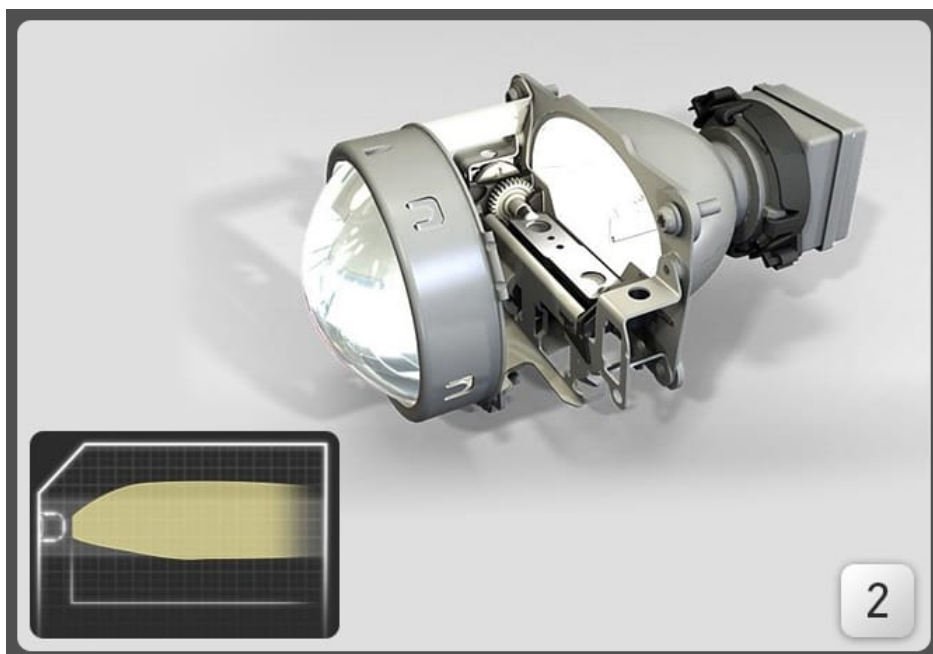
1.2.1 Systém aktívnych predných svetlometov - AFS

Teraz je už takmer štandardom systém AFS. Základnou myšlienkou je automatické adaptovanie svetla k situácii na vozovke.

Ide napríklad o zabránenie osvetleniu vozidla v opačnom smere jazdy alebo natočenie svetlometu v zákrute, kde systém reaguje na pootočenie volantu. Najčastejší spôsob je natočenie svetlometu, prípadne jeho časti alebo pridaním rotujúceho valca medzi zdroj svetla a šošovku, čím je možné meniť tvar premietania. Tento valec je ovládaný krokovým motorčekom, dosiahnutie požadovanej pozície je v rámci milisekúnd [1]. Clona medzi zdrojom svetla a šošovkou nemusí byť v tvare valca. Predmet, ktorý sa otáča okolo svojej osi, môže byť skosený pod určitým uhlom, prípadne v tvare kužela a tak vytvorí požadovanú clonu.



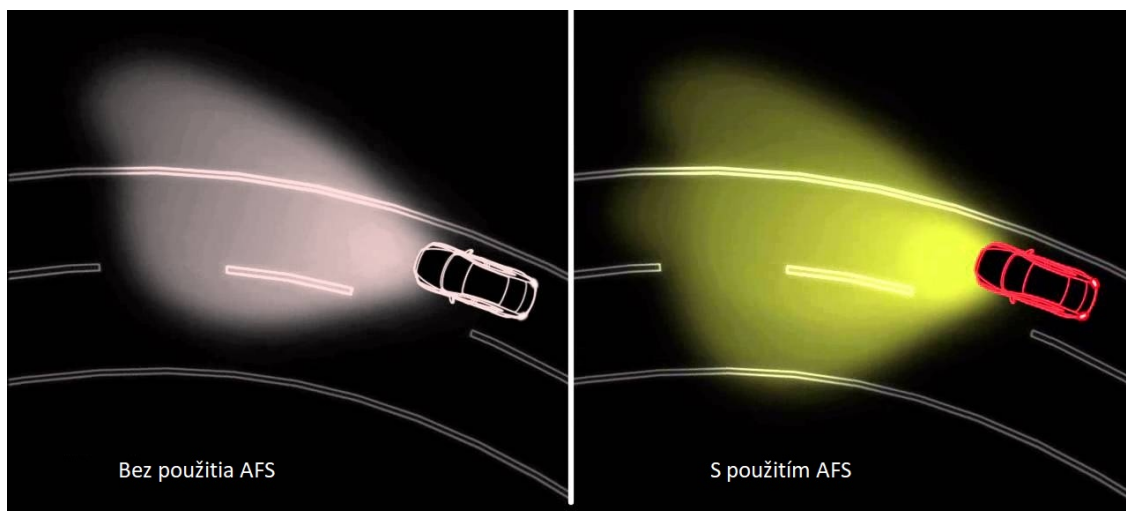
Obr. 1.3: Tlmené svetlá [1]



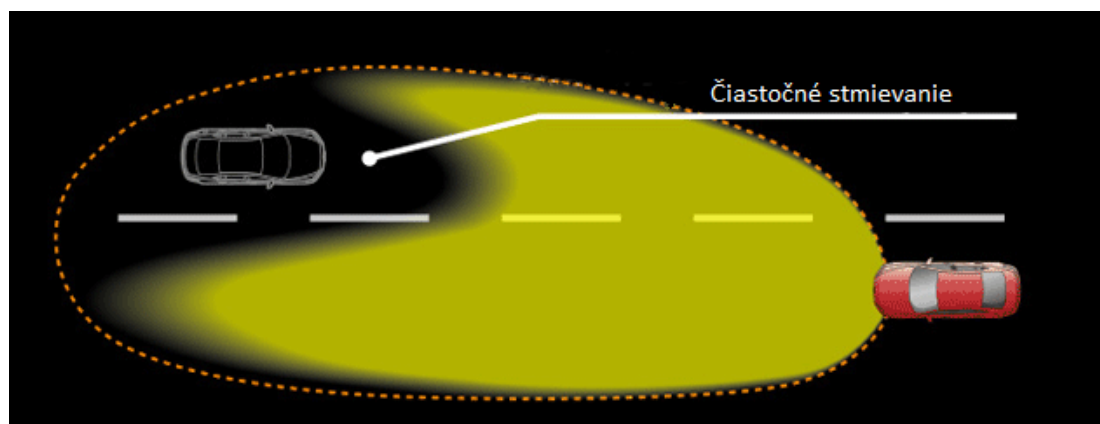
Obr. 1.4: Ďiaľkové svetlá [1]

Použitím kamery v čelnom skle je možné detegovať svetlomety ostatných vozidiel

a takto zabrániť ich oslneniu. Okrem použitia clony ako bolo popísané v predchádzajúcom odseku, je možné použiť systém čiastočného stmievania jednotlivých LED blokov. Toto riešenie je obsahom práce s použitím súčiastky NCV78343. V takto definovaných zónach je možné regulovať mieru oslnenia ostatných vodičov. Ukážka použitia systému AFS je zobrazená na obrázkoch 1.5 a 1.6 ².



Obr. 1.5: Použitie AFS v zákrutách [7]

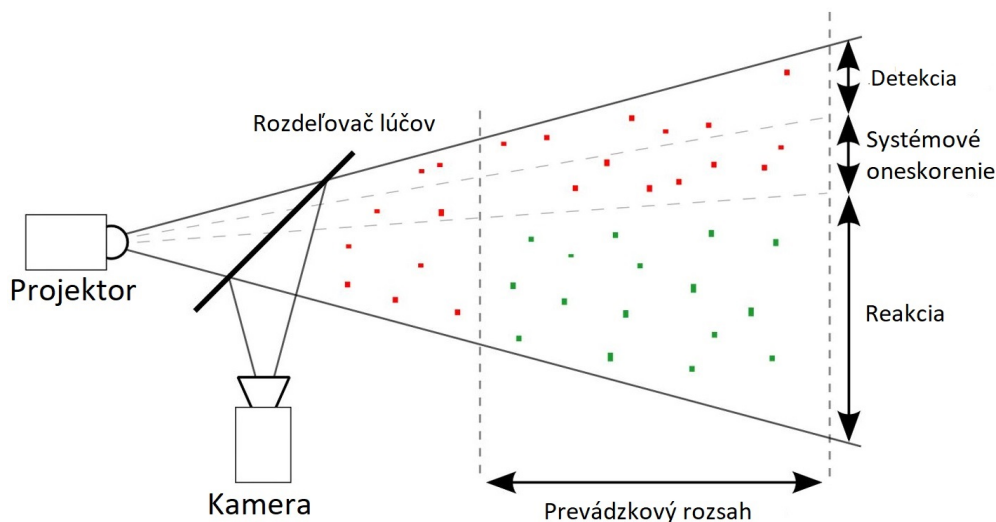


Obr. 1.6: Použitie AFS v prípade protiidúceho vozidla [7]

²Ide o využitie systémov AFS a ALH (Adaptive LED Headlights) od spoločnosti Mazda

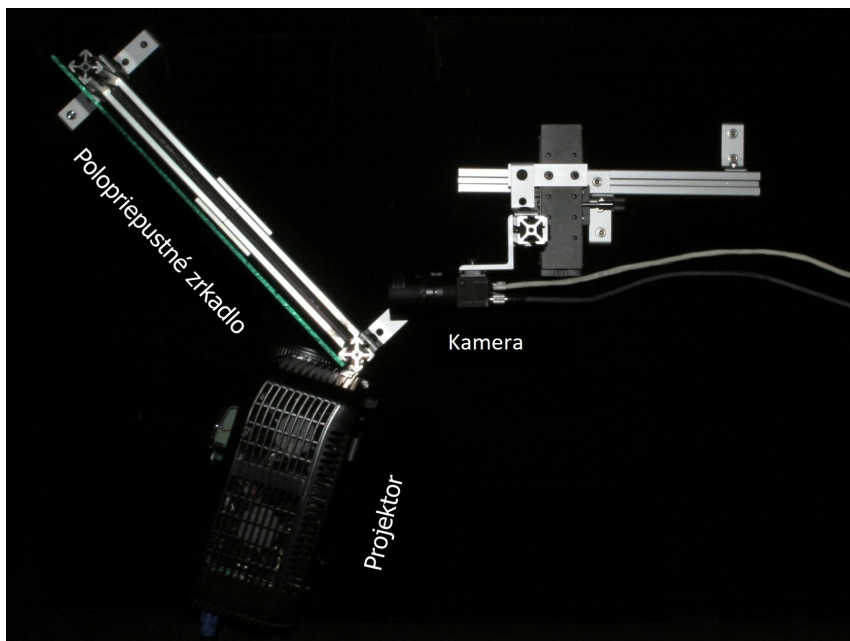
1.2.2 Intel - chytrý svetlomet

Okrem systémov, ktoré detegujú ostatné vozidlá na vozovke, existujú aj aplikácie schopné detegovať dažďové alebo snehové kvapky. Táto aplikácia vznikla spoluprácou firmy Intel a Carnegie-Mellon univerzitou. Účelom aplikácie je zlepšiť viditeľnosť za dažďa a sneženia a takto potlačiť spätné oslnenie vodiča. Systém deteguje jednotlivé padajúce kvapky a zaobchádza so svetlometom ako s projektorom s veľkým rozlíšením. Na základe týchto dát a vypočítanej trajektórie, svetlomet nesvieti na určité body. Princíp je zobrazený na obrázku 1.7. [4]



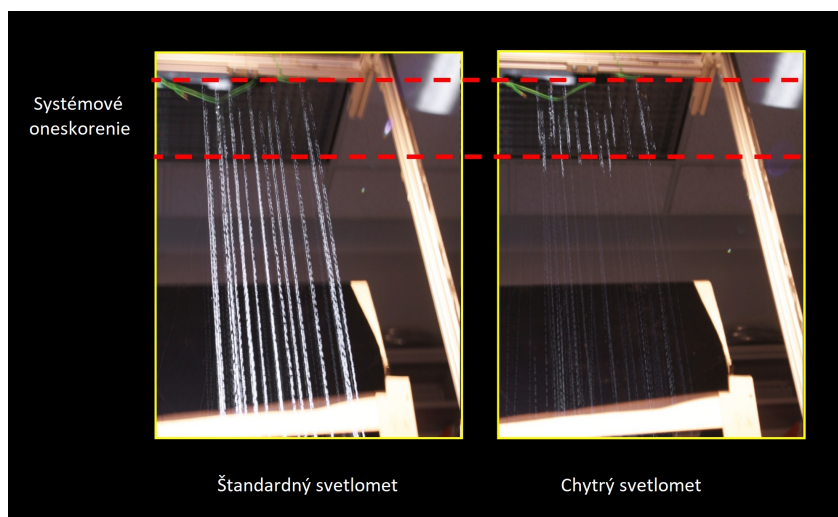
Obr. 1.7: Princíp chytrého Intel svetlometu [4]

Takáto aplikácia pozostáva z projektoru s vysokým rozlíšením, kamery a polopriepustného zrkadla. Kamera zachytáva projektorom osvetlené častice z vrchnej časti zorného poľa. Táto oblasť sa používa na predpovedanie trajektórie častíc. Dáta sú ďalej odoslané do procesora, ktorý vyhodnotí polohu častíc a ich predpokladanú trajektóriu. Takto môže projektor reagovať a neosvetliť predpokladanú trajektóriu častíc. Obrázok 1.8 zobrazuje prototypové komponenty pre uvedenú aplikáciu.



Obr. 1.8: Prototyp chytrého Intel svetlometu [4]

Reálne výsledky, ktoré je možné dosiahnuť takýmto systémom sú zobrazené na obrázku 1.9.



Obr. 1.9: Výsledky chytrého Intel svetlometu [4]

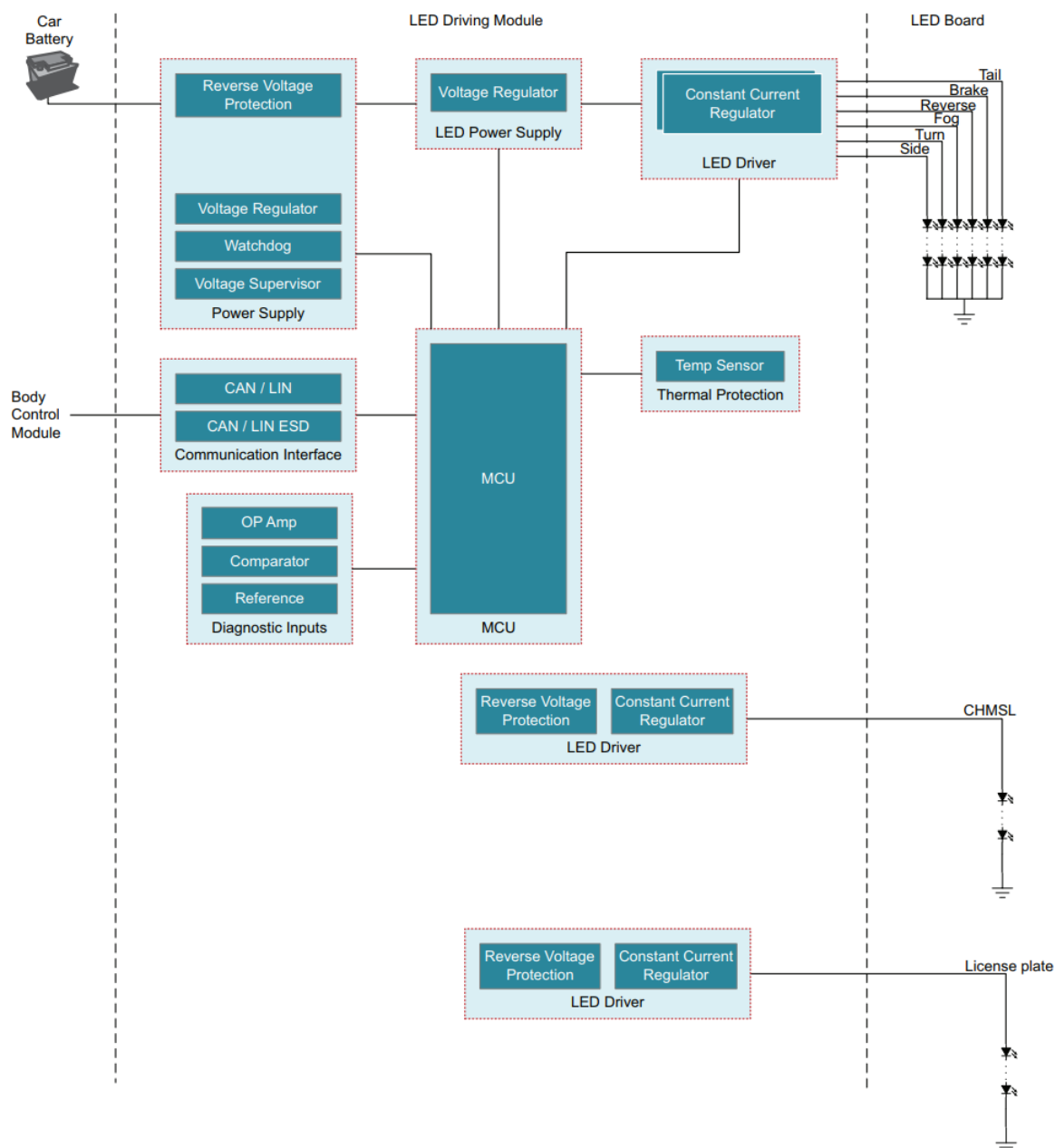
Celý proces od zachytenia po reakciu trvá približne 13 ms. Je potrebné definovať a minimalizovať túto systémovú odozvu, čas potrebný na zachytenie obrazu, spracovanie dát a schopnosť reagovať.

Systém môže byť chybný z dvoch hlavných dôvodov: aplikácia s dlhým oneskorením nemusí zachytiť padajúce častice medzi jednotlivými cyklami alebo nepriaznivé podmienky ako vietor, prípadne vibrácie v rámci systému spôsobené nerovnosťami vozovky zvyšujú chybovosť sledovacieho systému. [4]

1.2.3 Animačné funkcie

Animačné funkcie sú súčasťou novej éry v dizajne osvetlenia, ktoré zvyšujú estetiku. LED svetlomety sa používajú pri odomknutí/zamknutí vozidla, prípadne animácie blinkeru. Obrázok 1.10 zobrazuje nevyhnutnú súčasť vozidla, ktorá zahŕňa zadnú signalizáciu a ovládacie moduly. Animácie zadných svetiel umožňujú flexibilitu štýlu, takže aj prispôsobenie ku karosérie vozidla. Nové konštrukcie svetlometrov sú adaptované na komplexnejšie animácie, návrhy zadných svetlometrov prechádzajú z LED reťazcov na nezávislé LED pixely. Jednotlivé ovládanie LED môže byť zabezpečené zdrojom lineárneho prúdu alebo skratovaním individuálnych LED v ich sériovom zapojení. Z portfólia ON Semiconductor ako zdroj lineárneho prúdu môže byť použitá súčiastka NCV7685 [11], ktorá poskytuje 12 nezávislých výstupov s prúdovým odberom 60 mA. Jednotlivé kanály je možné ovládať nezávislým nastavením PWM (Pulzne-šírková modulácia - Pulse width modulation) hodnoty. Práca sa ďalej zaoberá druhou variantou, skratovanie individuálnych LED použitím súčiastky NCV78343 v kapitole 2.1. [17]

Z dôvodu zníženia výslednej ceny množstvo nových aplikácií prechádza z použitia integrovaných obvodov na diskrétno zapojenie. V praxi sa použije znižujúci buck menič, ktorý dodá konštantný prúd a mikrokontrolér s dostatočným množstvom PWM výstupov. Takto je možné ovládať jas LED pomocou tranzistorov, ktoré sú paralelne pripojené na jednotlivé LED pixely alebo celé LED reťazce.



Obr. 1.10: Blokový diagram napájania zadných svetiel [17]

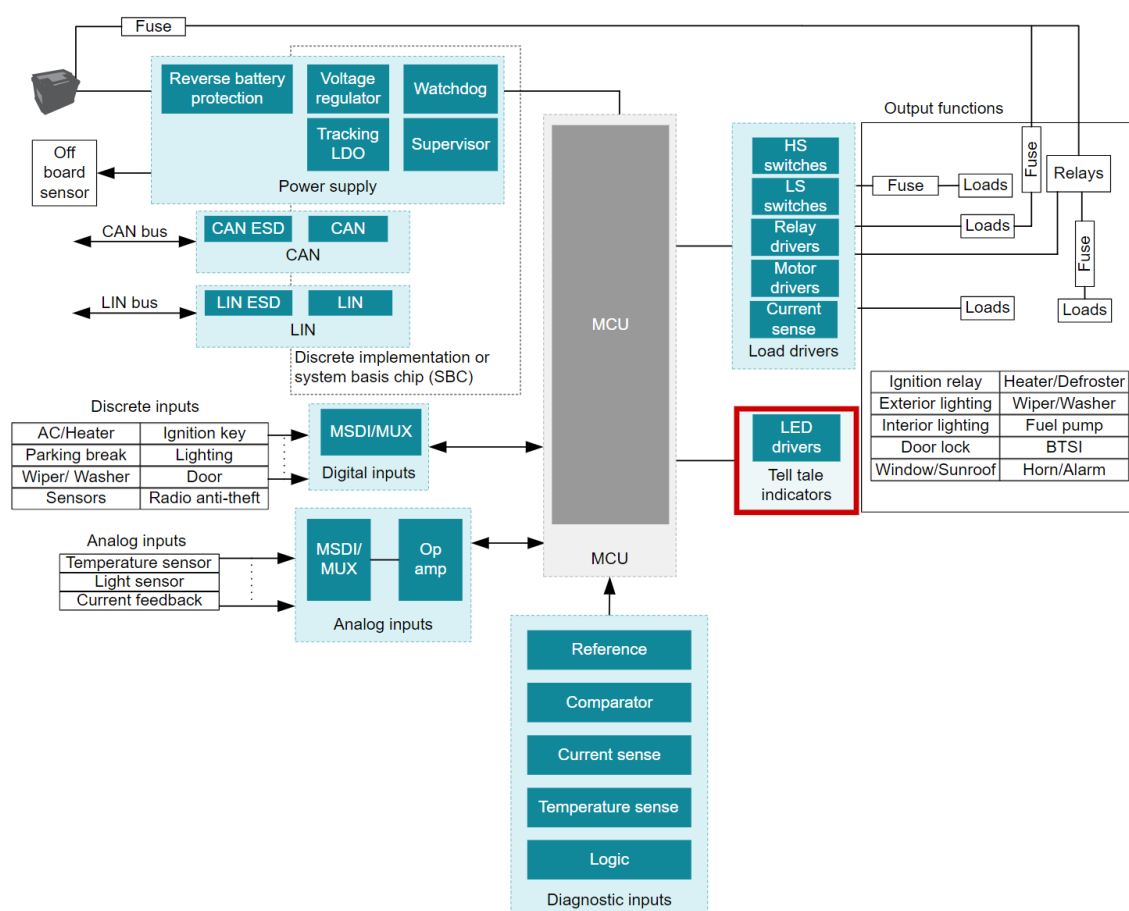
1.3 Centrálna elektronická jednotka

Obrázok 1.11 popisuje blokovú schému BCM (Centrálna elektronická jednotka vo vozidle - Body Control Module) jednotky. BCM je elektronická jednotka, ktorá ovláda väčšinu elektronických systémov vo vozidle ako napríklad elektronické ovládanie okien

a zrkadiel, klimatizáciu, centrálné zamykanie, ovládanie svetiel a ďalších. Táto práca sa ďalej detailnejšie zaoberá červeným vyznačenou časťou LDM (Modul LED driveru - LED Driver Module) jednotky, kapitola 2.3.

Pri návrhu BCM jednotky je potrebné dbať na niekoľko základných pravidiel:

1. komplexnosť jednotky - množstvo elektronických prvkov vo vozidle zvyšuje náročnosť jednotky pre ich obsluhu a samotný návrh,
2. napájanie - so zvyšujúcou sa komplexnosťou BCM jednotky sa zvyšuje náročnosť na počet polovodičových prvkov a ich napájanie,
3. bezpečnosť - hlavné otázky automobilového priemyslu, obzvlášť v autonómnych vozidlách je otázka bezpečnosti a zabezpečenia. Existuje niekoľko možností ako útočník môže preniknúť do tohto systému,
4. cena - pri započítaní ceny je potrebné dbať aj na použitý materiál. Tu je možné v budúcnosti znížiť cenu a začať používať bezdrôtové jednotky.



Obr. 1.11: Bloková schéma BCM jednotky [3]

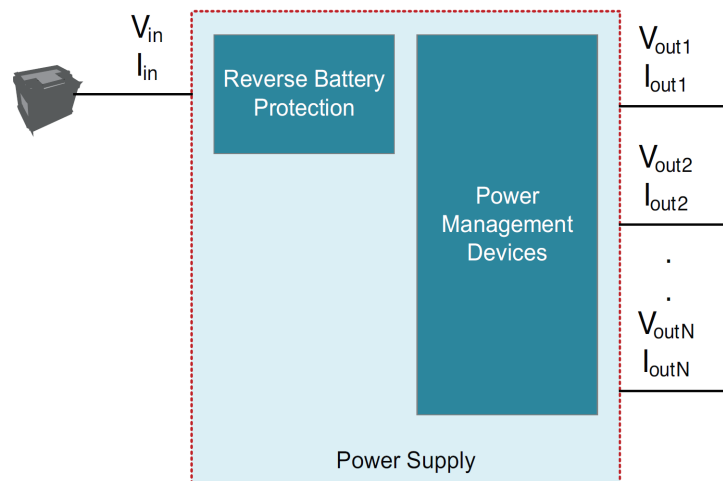
1.3.1 Návrh BCM jednotky

Pri návrhu je potrebné dbať na niekoľko bodov, ktoré rozhodujú o finálnej aplikácii. Primárna požiadavka je na zvyšujúci sa výkon a tým náročnosť výpočtového jadra mikroprocesora. Zvyšuje sa počet vstupno-výstupných pinov, ako sú komunikačné zbernice, PWM kanály, AD vstupy a ďalšie. Trh núti výrobcov neustále používať menšie púzdra, ktoré sú lacnejšie a je možné ich použiť viac na jednej doske. Návrh začína pri výbere mikroprocesora. Musí podporovať radu požiadavok, ako sú dostupné programovacie nástroje a podpora vysokoúrovňových programovacích jazykov, čo najnižšia vlastná prúdová spotreba, možnosť módu s nízkou spotrebou. Dbá sa na uskutočniteľnosť návrhu a efektívnu sériovú výrobu. V prípade použitia jednotky vo viacerých vozidlách je nutné dbať na univerzálnosť a jednoduchú modifikáciu v budúcnosti.

Bežne sa vo vozidle vyskytuje 25 ECU (Elektronická kontrolná jednotka - Electronic Control Unit) jednotiek. Ich spojenie je stále drátové a tak môže byť vo vozidle až 6 km medeného drôtu o váhe 70 kg.

1.3.2 Napájanie BCM jednotky

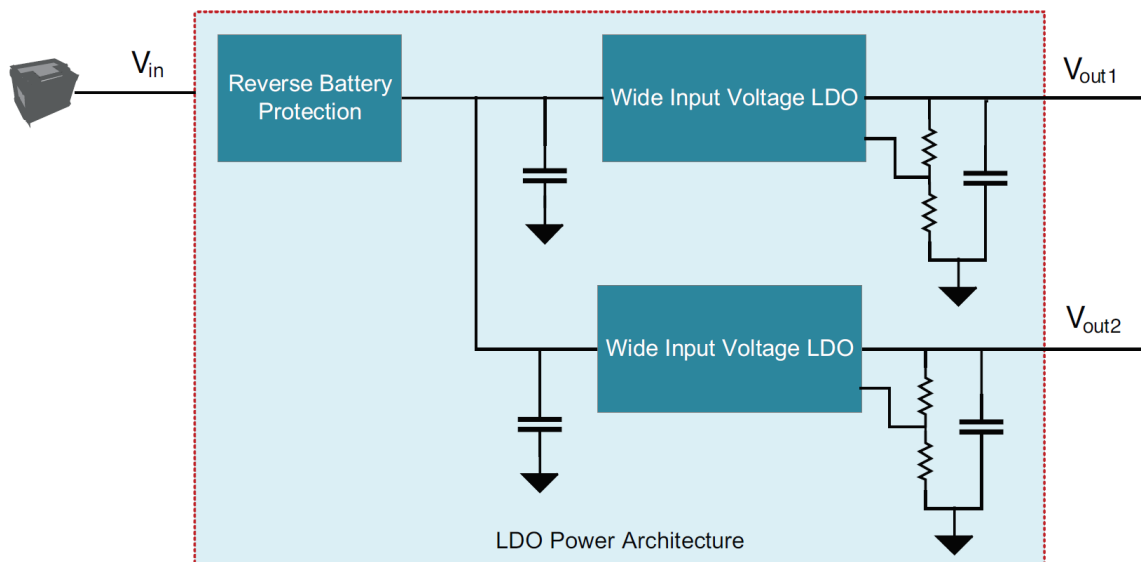
Jediný zdroj napájania je 12V batéria. Tento zdroj nie je považovaný za dostatočne čistý a hladký, hlavne z dôvodu napätových špičiek a širokému napäťovému rozsahu, ktorý môže byť na svorkách. Riadenie napájania musí spoľahlivo napájať všetky elektronické jednotky vo vozidle a taktiež chrániť obvod pred poškodením. Bloková schéma je zobrazená na obrázku 1.12.



Obr. 1.12: Bloková schéma napájania BCM jednotky [16]

Pri návrhu sa dbá na dve základné požiadavky. Aké podmienky musí spĺňať a pri akých podmienkach musí pracovať riadiaca jednotka.

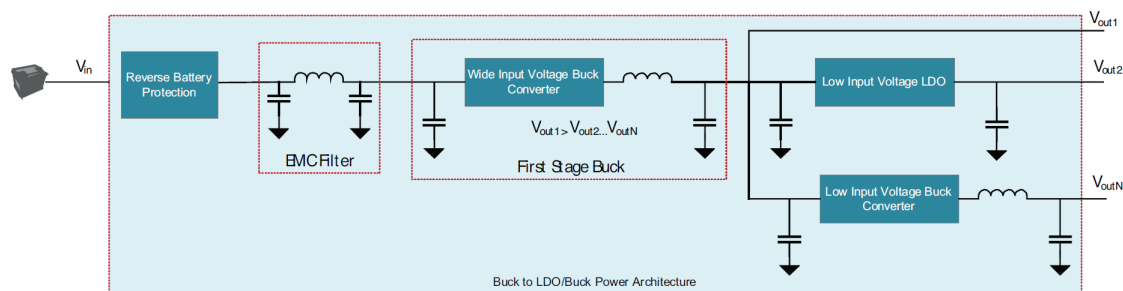
Najjednoduchšia forma napájania je použitím iba LDO (Regulátor napätia s nízkym úbytkom - Low-dropout regulator) regulátorov. Ide o zapojenia viacerých integrovaných obvodov, ktoré poskytujú požadované napätie, obrázok 1.13.



Obr. 1.13: Bloková schéma napájania použitím LDO [16]

Takáto architektúra má veľkú výhodu vo flexibilitě, keďže stačí pridať iba jeden integrovaný obvod a niekoľko pasívnych súčiastok pre ďalšiu hodnotu výstupného napätia. Napriek výhodám architektúry LDO - vrátane menších problémov s EMI (Elektromagnetické rušenie - Electromagnetic interference), malému rozmeru a jednoduchej implementácii - je potrebné zvážiť niekoľko ďalších faktorov. LDO nemajú veľmi dobrú energetickú účinnosť, čo môže viesť k tepelným obmedzeniam spôsobeným stratou energie v zariadení z dôvodu veľkého rozptylu vstupného napätia V_{in} .

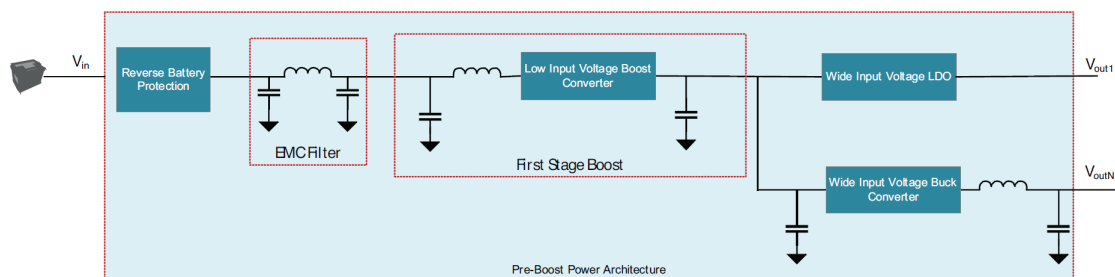
Ďalšou variantou je pridanie medzikroku - znižujúci menič (buck regulátor) medzi batériu a LDO. Ide o dvojstupňovú hierarchiu, kde prvý stupeň je ako znižujúci buck regulátor a druhý stupeň môže byť taktiež znižujúci buck regulátor alebo LDO, prípadne ich kombinácia podľa požiadavku na výstupný prúd, respektíve výkon. Túto situáciu znázorňuje obrázok 1.14.



Obr. 1.14: Bloková schéma napájania použitím znižujúceho meniča a LDO [16]

Jednoduchým pridaným výstupných regulátorov v druhom stupni je možné rozšíriť rozsah výstupných napätí. Prvý stupeň sa navrhne na čo najväčšie spoločné napätie druhého stupňa. Typicky ide o 5 V, takže napäťový rozdiel ďalšieho stupňa nebude tak veľký. Tým sa zabezpečí, že veľký napäťový úbytok bude iba na jednom člene takejto architektúry. Uvedeným spôsobom sa zvýši efektívnosť celej napájacej štruktúry, keďže sa zredukujú spínacie straty a straty na vedení. [16]

Ďalšie rozšírenie sa získa pridaním zvyšujúceho meniča na vstup, ktorý zabezpečí napájanie BCM jednotky aj pri nízkych hodnotách V_{in} . Túto situáciu zobrazuje obrázok 1.15.



Obr. 1.15: Bloková schéma napájania s pridaním zvyšujúceho meniča [16]

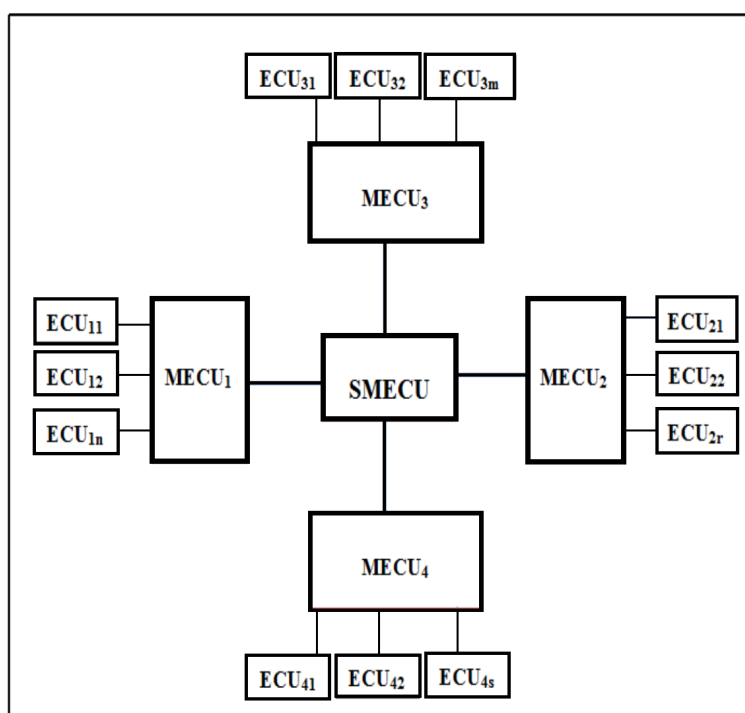
1.3.3 Bezpečnosť BCM jednotky

ECU jednotky sú nevyhnutnou súčasťou systému vo vozidlách. S prichádzajúcimi bezdrôtovými riešeniami sú viac náchylné na útoky. Veľké množstvo útokov môže viesť k fatálnym a nenávratným chybám. Zároveň sa kladie požiadavka na bezpečnosť, kde sa môže

jednať napríklad o zoskupenie viacerých jednotiek, ktoré budú komunikovať po zabezpečenej linke. Každá jednotka je nazvaná podľa jej funkčnosti. Napríklad sa jedná o ECM (Elektronická kontrolná jednotka motora - Engine Control Module) jednotku, ktorá ovláda motorovú časť (množstvo paliva, časovanie zapalovania) alebo EBCM (Electronic Brake Control Module) jednotku, ktorá ovláda systém brzd.

Medzi najkritickejšie miesta ECU jednotiek patrí OBD-II (Diagnostic port - On-Board Diagnostic port) konektor. Uvedené rozhranie poskytuje priamy prístup do vozidla pre diagnostiku a aktualizovanie programu. Takto môže útočník vniknúť a preprogramovať ECU jednotku.

Jedna z možností bezpečnosti je zaviesť hlavnú SMECU (Super Master ECU) jednotku, ktorá bude mať za úlohu propagovať komunikáciu medzi lokálnymi MECU (Master ECU) jednotkami. Zároveň sa do systému zavedie šifrovaná komunikácia s unikátnym šifrovaným kľúčom. Návrh popísaného systému je zobrazený na obrázku 1.16. [15]



Obr. 1.16: Systémový návrh SMECU jednotky [15]

1.3.4 Bezdrôtové BCM jednotky

V predchádzajúcej kapitole bolo spomenuté, že vo vozidle sa nachádza až 70 kg medeného drôtu. V automobilovom priemysle sa vždy dbá na bezpečnosť, zabezpečenie v spojení s komfortom a hlavne cenu.

V prípade ďalších technologických novín, kedy je veľké množstvo dát dostupné v reálnom čase na cloude. Tieto dáta sú dostupné z mobilu, tabletu, notebooku a neustále aktualizované. Myšlienka online dát v priemyselných vozidlách by uľahčila prácu a diagnostiku. Napríklad pre transportné spoločnosti je možné zbierať informácie o najjazdených kilometroch, množstve paliva, aktuálnej polohe a množstvo ďalších v reálnom čase. Dané informácie môžu zrýchliť dopravu medzi spoločnosťami, budú vedieť aký je stav dodávky. Ďalšou výhodou je, že v procese plánovania je možné určiť čas prepravy ako aj cenu najvýhodnejšej trasy. Jednotlivec môže využiť tieto dáta v určení vhodnej trasy, uloženia online dát servisnej knižky, čo zefektívni predaj vozidla. V poslednej rade ide aj o bezpečnosť, v prípade nehody vozidlo automaticky privolá pomoc.

Na úvod je možné rozlíšiť dva základné bezdrôtové prístupy – lokálny a globálny. V prípade lokálneho prístupu, ide o komunikáciu v rámci vozidla medzi ECU jednotkami. Tu môžu byť použité technológie na bezdrôtovú komunikáciu pre menšie vzdialenosti, ako napríklad Bluetooth, WiFi, ZigBee. Každá technológia má svoje výhody a nevýhody.

WiFi má prenosovú rýchlosť až 100 MBps na vzdialenosť do 300 metrov. Bluetooth dokáže preniesť jednotky MBps do vzdialenosti 100 metrov. ZigBee umožňuje preniesť 1 MBps do vzdialenosti 100 metrov. Nevýhodou WiFi je jej prítomnosť, čo prináša rušenie. Nevýhodou Bluetooth je absencia komunikácie medzi viacerými bodmi v jeden čas. Množstvo áut má bežne zabudovaný Bluetooth prijímač, napríklad pre zvuk alebo hands-free telefonovanie. ZigBee pracuje na rovnakej frekvencii ako bluetooth – 2,4 GHz. Z týchto dôvodov nie je jednoduché aplikovať tento protokol pre bezdrôtové BCM jednotky. [18]

2 Teoretická časť

V teoretickej časti je popísaná súčiastka NCV78343 a jej komunikačné rozhrania. Súčasťou je porovnanie s predchádzajúcou prvou generáciou pixel kontroléru NCV78247.

2.1 Popis obvodu NCV78343

NCV78343 je jednočipový pixel kontrolér s tranzistorovými spínačmi pre ovládanie série LED. Zodpovedá štandardom pre aplikácie v automobilovom priemysle. Základné vlastnosti súčiastky:

- komunikácia - obvod komunikuje na 2 fyzických vrstvách - LVDS a UART na vlastnom protokole PXN (PixelLight Network Protocol) až do rýchlosti 1 Mbaud,
- ochrana - proti prepätiu, prehriatiu, detekcia skratu/rozopnutiu obvodu LED,
- verifikácia - lokálna na LVDS zbernici, globálna na UART zbernici, implementovaný watchdog s obnovovacím časom 250 ms, detekcia synchronizácie,
- rozšírenia - rozhranie pre externú I2C pamäť, integrovaný 8bitový AD prevodník,
- výstup: 12 integrovaných tranzistorových spínačov, ktoré podporujú PWM moduláciu a fázový posuv pre každý kanál,
- adresovanie - podpora 8 nastavení adresy pomocou externého deliča napätia alebo možnosť nastaviť internú programovateľnú adresu až 32 zariadeniam.

Typické hodnoty sú zobrazené v tabuľke 2.1.

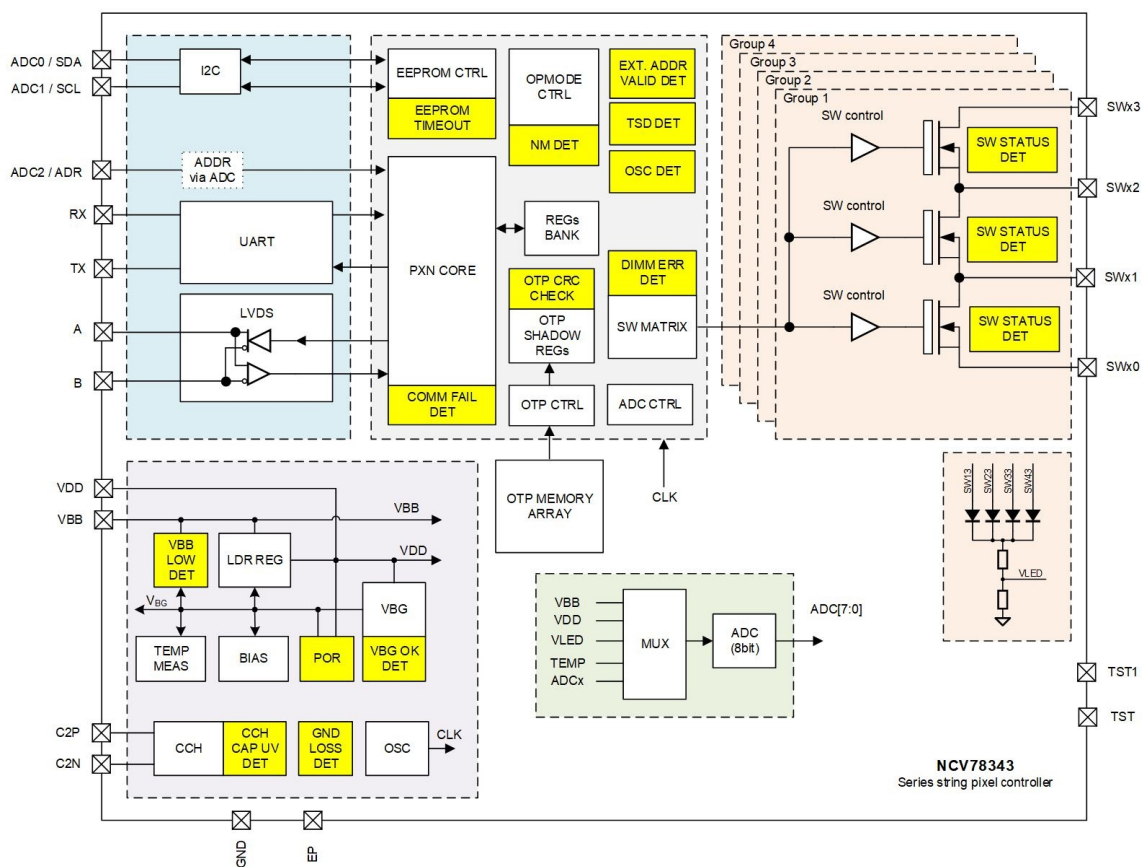
Tab. 2.1: Prevádzkové podmienky

| Symbol | Parameter | Min | Max | Jednotka |
|--------------|--------------------------|-----|------|----------|
| V_{BAT} | Napätie batérky | 4,5 | 40 | V |
| V_{SWITCH} | Napätie na tranzistore | 0 | 10 | V |
| V_{STRING} | Napätie na LED stringu | 0 | 60 | V |
| I_{SWITCH} | Prúd tranzistorom | 0 | 1,4 | A |
| T_j | Teplota kremíku | -40 | 150 | °C |
| S_{PXN} | PXN komunikačná rýchlosť | 125 | 1000 | kbit |

Vnútorne blokové zapojenie je zobrazené na obrázku 2.1. Obvod pozostáva z dvoch hlavných častí.

Prvá digitálna časť slúži pre komunikáciu, diagnostiku a logiku, ktorá ovláda 10 bitový stmievací radič. Vstupno-výstupná časť, označená modrou farbou, poskytuje rozhranie pre UART, LVDS a I2C alebo AD prevodník. Rozhrania I2C a AD zdieľajú rovnaké piny, takže je potrebné pri návrhu aplikácie myslieť na budúce použitie. Nasleduje digitálny blok (šedá farba), ktorý spracováva komunikáciu, zápis a čítanie do registrov a vytvára rozhranie pre stmievací radič.

Druhá analógová časť pozostáva zo vstupného napájacieho bloku (označená šedou farbou) a bloku, ktorý ovláda výstupné tranzistory (označené oranžovou farbou). Napájací analógový blok poskytuje napäťovú referenciu pre digitálnu časť a hodinové pulzy pre oscilátor.



Obr. 2.1: Vnútorne zapojenie obvodu NCV78343 [13]

Základnou funkciou teplotnej ochrany je automatické vypnutie obvodu pri prekročení

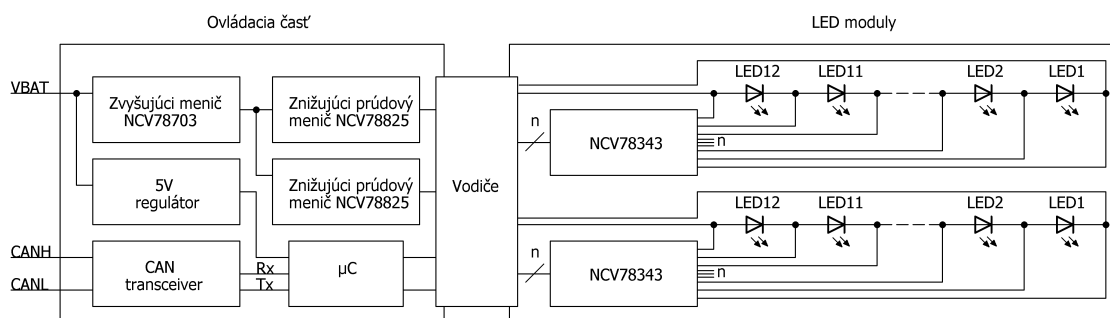
maximálnej dovolenej teploty. Tá je digitálne definovaná v OTP ¹ pamäti. V princípe ide o digitálny komparátor, ktorý porovnáva hodnotu teploty z AD prevodníku s hodnotou z pamäte.

Obvod NCV78343 poskytuje päť hodnôt z interného AD prevodníka: teplota, napätie batérie V_{BAT} , napätie digitálnej časti V_{DD} , napätie na sérii LED V_{LED} a externé tri AD vstupy. Tieto analógové hodnoty sú do AD prevodníka privádzané cez analógový multiplexor. Rozlíšenie AD prevodníka je 8 bitov.

OTP pamäť sa skladá z elementárnych 1-bitových pamäťových buniek v zapojení ako posúvny register. OTP pamäť je rozdelená na tri registre. Prvé dva sú užívateľsky neprístupné a sú nastavené pri výrobe. Ide o trimovacie konštanty referencií použitých v súčiastke. Tretia banka obsahuje užívateľsky prístupný register, kde je možné nastaviť adresu súčiastky, komunikačnú rýchlosť a stav, ktorý má nastať v prípade poruchy.

Komunikačnú rýchlosť je možné zapísať v 2-bitovom čísle. Dostupné rýchlosti sú 125 kb/s, 250 kb/s, 500 kb/s a 1000 kb/s. V prípade, že nebude zapísaná rýchlosť v OTP banke, bude zvolená základná rýchlosť 250 kb/s.

Na obrázku 2.2 je principiálne blokové zapojenie s použitím NCV78343, napájacieho a ovládacieho bloku.



Obr. 2.2: Principiálna bloková schéma napájacieho systému

Napájacia časť pozostáva zo zvyšujúceho meniča, ktorý zo vstupného napätia batérie, typicky 14 V, vytvorí napätie o hodnote až 60 V a následne znižujúci menič, ktorý dodá konštantný prúd do série LED.

Rozdiely v porovnaní s prvou generáciou NCV78247:

- väčšie prúdové zaťaženie až 1.4 A,
- 50% zníženie odporu tranzistorov v zopnutom stave,

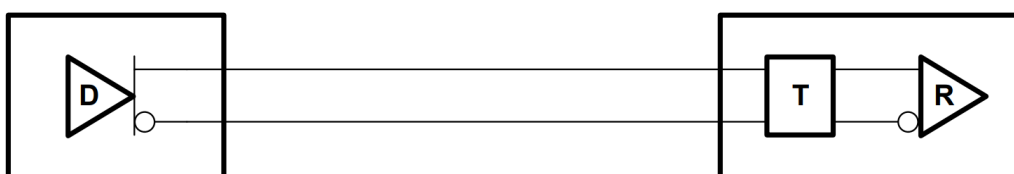
¹OTP - One Time programming, ide o typ pamäte, ktorú je možné naprogramovať iba jedenkrát. V princípe ide o typ zápisu, kedy po správnom zápise sa pamäť uzamkne a nie je možné do nej viackrát zapisovať z dôvodu nevratnej zmeny pamätevej bunky.

- rozhranie SPI nahradené UART,
- nastaviteľná adresa zariadenia pomocou externého deliča napätia na pine ADC0/ADR alebo vnútornej programovateľnej adresy,
- možnosť pripojenia externej EEPROM pamäte na I2C zbernici,
- iba interný dimming clock,
- podpora funkčnej bezpečnosti podľa ISO26262.

2.1.1 LVDS zbernica

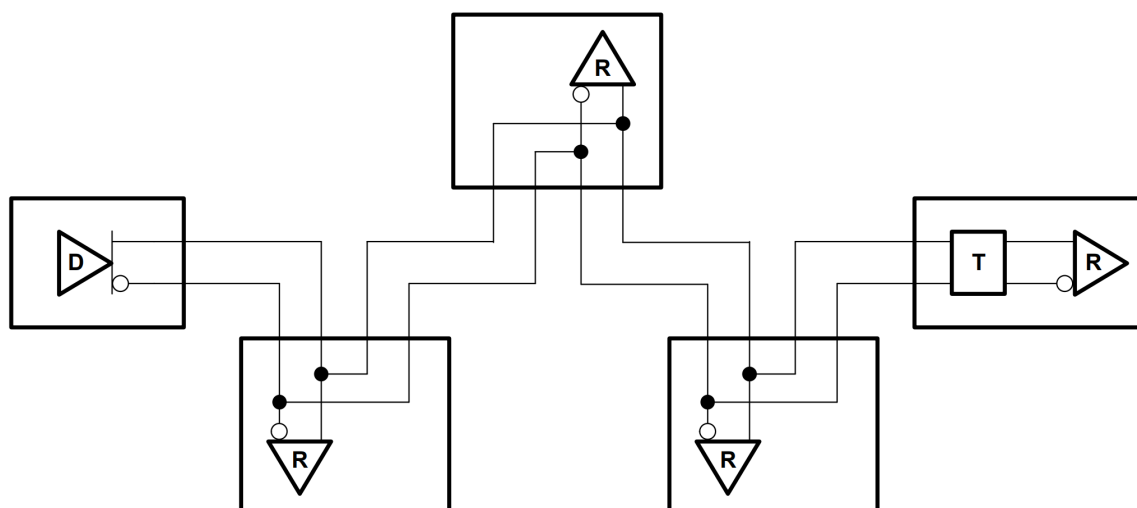
Zbernica LVDS, známa aj pod označením špecifikácie TIA/EIA 644 a M-LVDS pod označením TIA/EIA 899 je používaná pre rýchle, nízkonapätové zbernice. LVDS prúdový mód vytvorí diferenčné napätie o hodnote 247 mV až 454 mV na záťaži o hodnote 100 Ω . Typický odstup od zeme je 1,2 V a spojením uvedených parametrov umožňujú LVDS pracovať na vysokých komunikačných rýchlostiach a nízkom výkone. [5] V praxi existujú dve bežné zapojenia využívajúce LVDS zbernicu:

- point-to-point (bod k bodu) - ide o najpoužívanejšiu konfiguráciu LVDS, kde je zabezpečená najvyššia kvalita signálu a najjednoduchšia implementácia



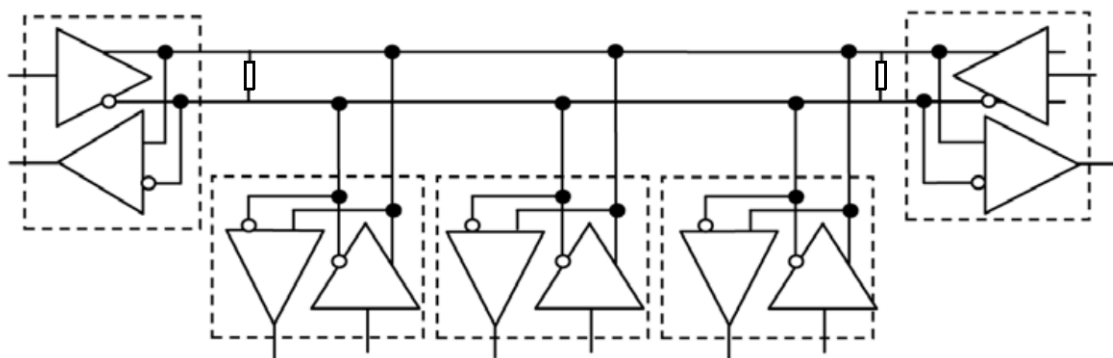
Obr. 2.3: LVDS v konfigurácii point-to-point [5]

- multidrop - zapojenia s viacerými prijímačmi. Je potrebné dbať na celkovú dĺžku vedenia, umiestnenie prijímačov a zakončovací rezistor. V tejto konfigurácii je možné použiť iba jeden rezistor, ktorý sa bude nachádzať na najvzdialenejšom konci zapojenia 2.4



Obr. 2.4: LVDS v konfigurácii multidrop [5]

Nasledujúci obrázok 2.5 zobrazuje zapojenie, ktoré je aplikované pre aplikáciu s použitím NCV78343 a vyžaduje dva terminačné odpory o hodnote 100 Ω .

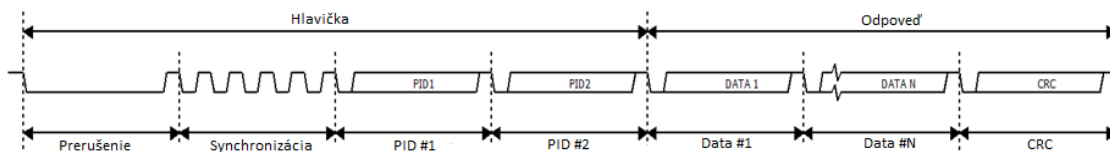


Obr. 2.5: M-LVDS v zapojení Multinode Multipoint Half Duplex [9]

2.1.2 PXN protokol

Ide o komunikačný protokol, spojením LIN a UART formátu. Na obrázku 2.6 možno vidieť, že protokol pozostáva z hlavičky a odpovede, kde si slave automaticky synchronizuje

prenosovú rýchlosť.



Obr. 2.6: PXN protokol

Protokol pozostáva z hlavičky a odpovede. Hlavičku vždy začína master a nasleduje odpoveď, ktorá závisí od typu komunikácie.

Zbernica rozlišuje dva typy komunikácie:

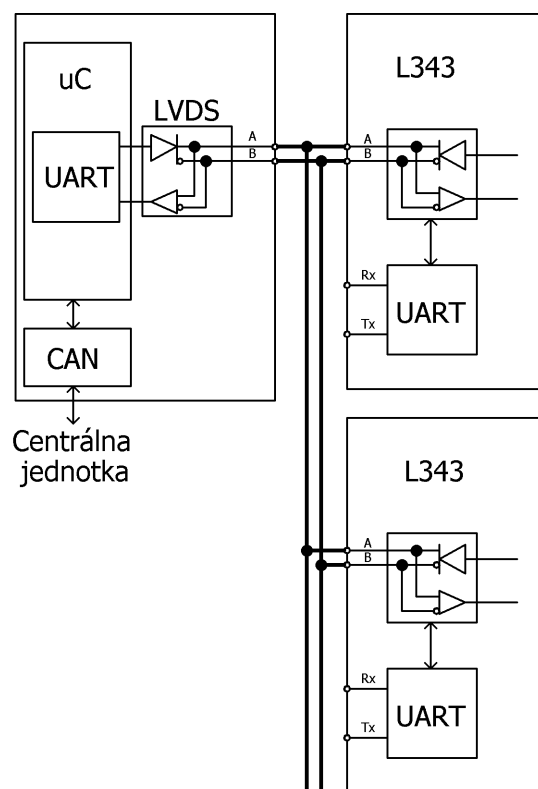
- zápis - za hlavičkou pokračujú dáta od mastra,
- čítanie - za hlavičkou nasledujú dáta, ktoré odosiela slave.

Protokol obsahuje start bit, následne 8 bit dát (začína LSB) a stop bit.

Hlavička začína prerušením (break field), čo znamená logická 0 po dĺžke aspoň 11 pulzov. Prerušenie slúži k jednoznačnej identifikácii začiatku nového komunikačného rámca. Nasleduje synchronizačný byte (sync field, 0x55), ktorý odstraňuje požiadavku na veľmi presný zdroj hodín v každej súčiastke, čo zvyšuje cenu celej aplikácie a nasledujú dva identifikačné byty. Identifikačný byte obsahuje adresu zariadenia, s ktorým chceme komunikovať, typ komunikácie (napr. zápis alebo čítanie) a parity bit.

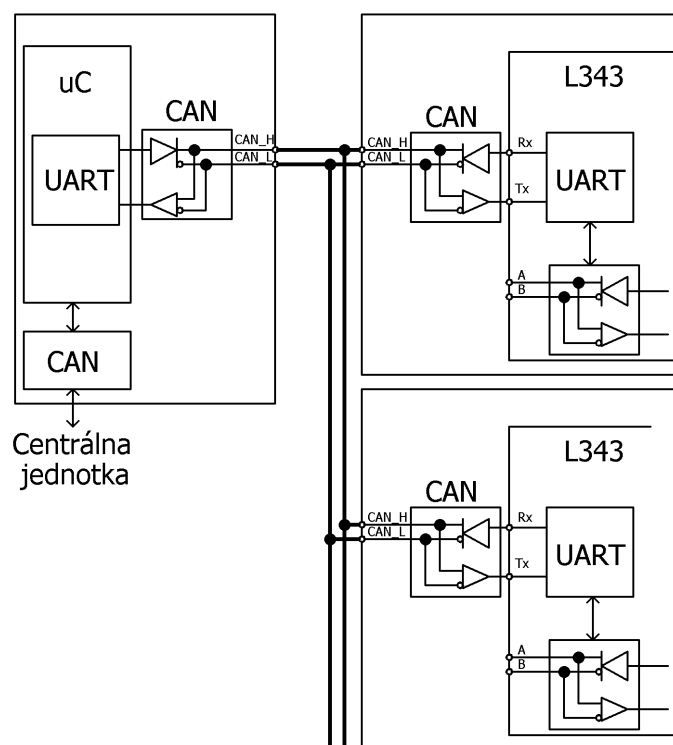
2.2 Fyzické komunikačné rozhrania

Obvod NCV78343 ako je možné vidieť na vnútornom zapojení 2.1 podporuje dve komunikačné rozhrania. Ide o rozhranie, kde je použitá fyzická vrstva nízkonapätovej diferenčnej linky LVDS 2.1.1. Nie je implementovaná priama špecifikácia TIA/EIA 899, ale M-LVDS v konfigurácii multidrop ako fyzická vrstva. Výstup z procesora v rozhraní UART je privedený do prevodníka UART na LVDS a tento je rozvetvený do vstupných/výstupných LVDS pinov A a B NCV78343 súčiastok, obrázok 2.7.



Obr. 2.7: LVDS rozhranie

Ďalším podporovaným, v automobilovom priemysle veľmi častým rozhraním je CAN (Controller Area Network) PHY (fyzická vrstva). Opäť je výstup z procesora vyvedený z UART rozhrania, nasleduje prevodník UART na CAN. Tentokrát má každá súčiastka na vstupe prevodník z CAN na UART a takto je možné podporovať a modelovať bežnú konfiguráciu vo vozidlách, obrázok 2.8.



Obr. 2.8: CAN rozhranie

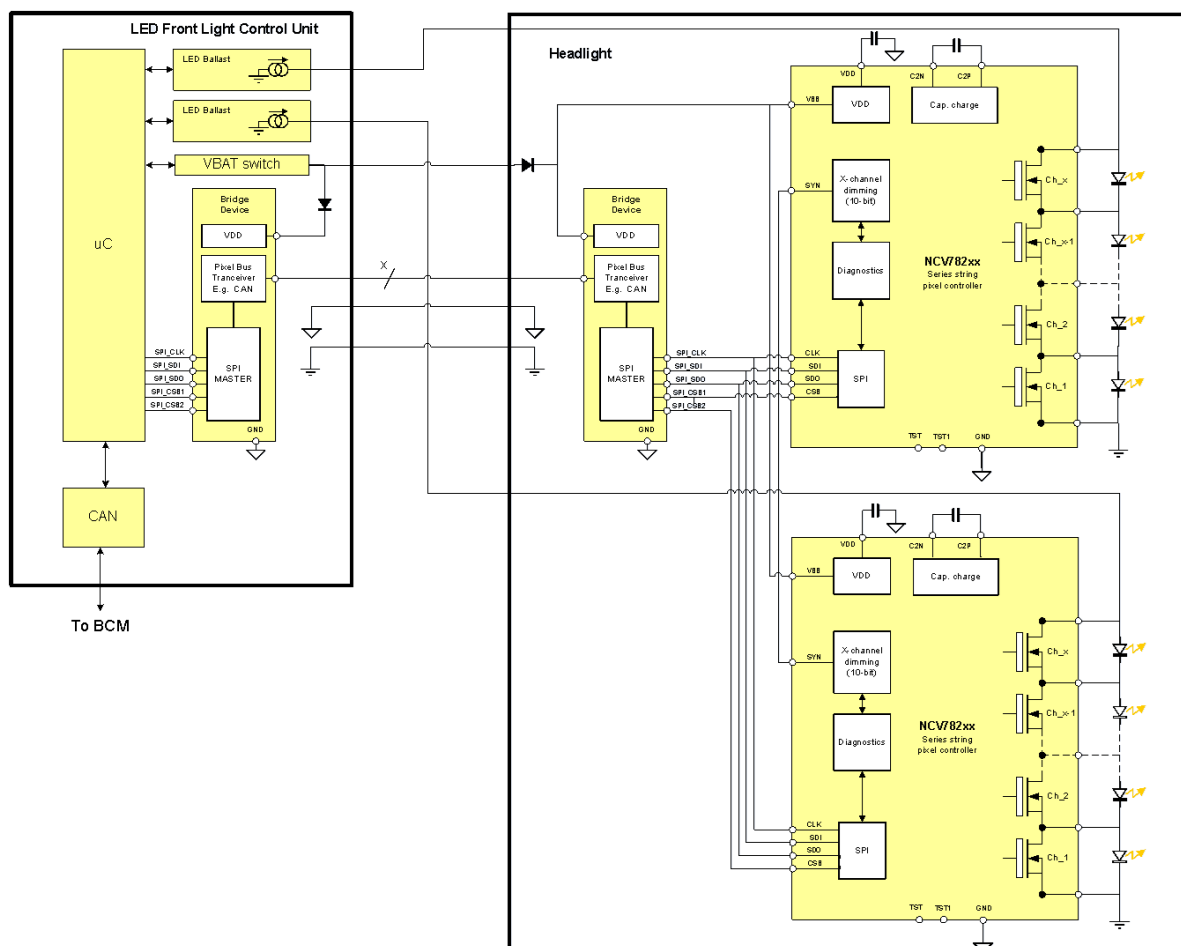
Obvod umožňuje komunikovať na fyzickej UART a LVDS zbernici. V prípade štandardnej konfigurácie, ktorá je aj prioritne podporovaná touto prácou je topológia 6 A.1. Pri uvedenom zapojení je potrebné detegovať chybové stavy na oboch zberniciach.

- LVDS zbernica - lokálna chyba na zbernici môže nastať v prípade, že slave odpovedá na lokálnej LVDS zbernici na pine T_X a repeater-slave v PMC (PXN mód - PXN mode control bit) móde neprijme tie isté dáta na R_X v echo režime.
- UART zbernica - globálna chyba môže byť detekovaná ak dáta vyslané na T_X pine sa nezhodujú s dátami prijatými na R_X v echo režime na UART zbernici.

2.3 Systémová architektúra

Obvod NCV78343 bol navrhnutý pre zjednodušenie celkovej systémovej architektúry použitej v automobiloch. Predchádzajúca generácia pixel kontroléru NCV78247 mala komunikačné rozhranie na SPI zbernici čo vyžadovalo lokálny mikroprocesor, ktorý mohol ovládať túto súčiastku. Úlohou mikroprocesora je prijímať dáta z BCM/LDM jednotky

a ďalej posielať do NCV78247. Ukážka popísanej architektúry je zobrazená na obrázku 2.9. Môžeme vidieť, že ďalšou nevýhodou je nutnosť LVDS alebo CAN transceiveru z dôvodu prenosu dát medzi modulami vo vnútri svetlometu, čo zvyšuje náročnosť a cenu celej aplikácie. Ďalšia nevýhoda je, že SPI je až štvorvodičová zbernica a nie je definovaná na dlhé vzdialenosti medzi jednotlivými doskami, ktoré môžu byť od seba vzdialené jednotky až desiatky centimetrov. SPI nepodporuje spojenie medzi rôznymi doskami z dôvodu rušenia a rozdielných zemných potenciálov.



Obr. 2.9: Systémová architektúra s použitím prvej generácie NCV78247

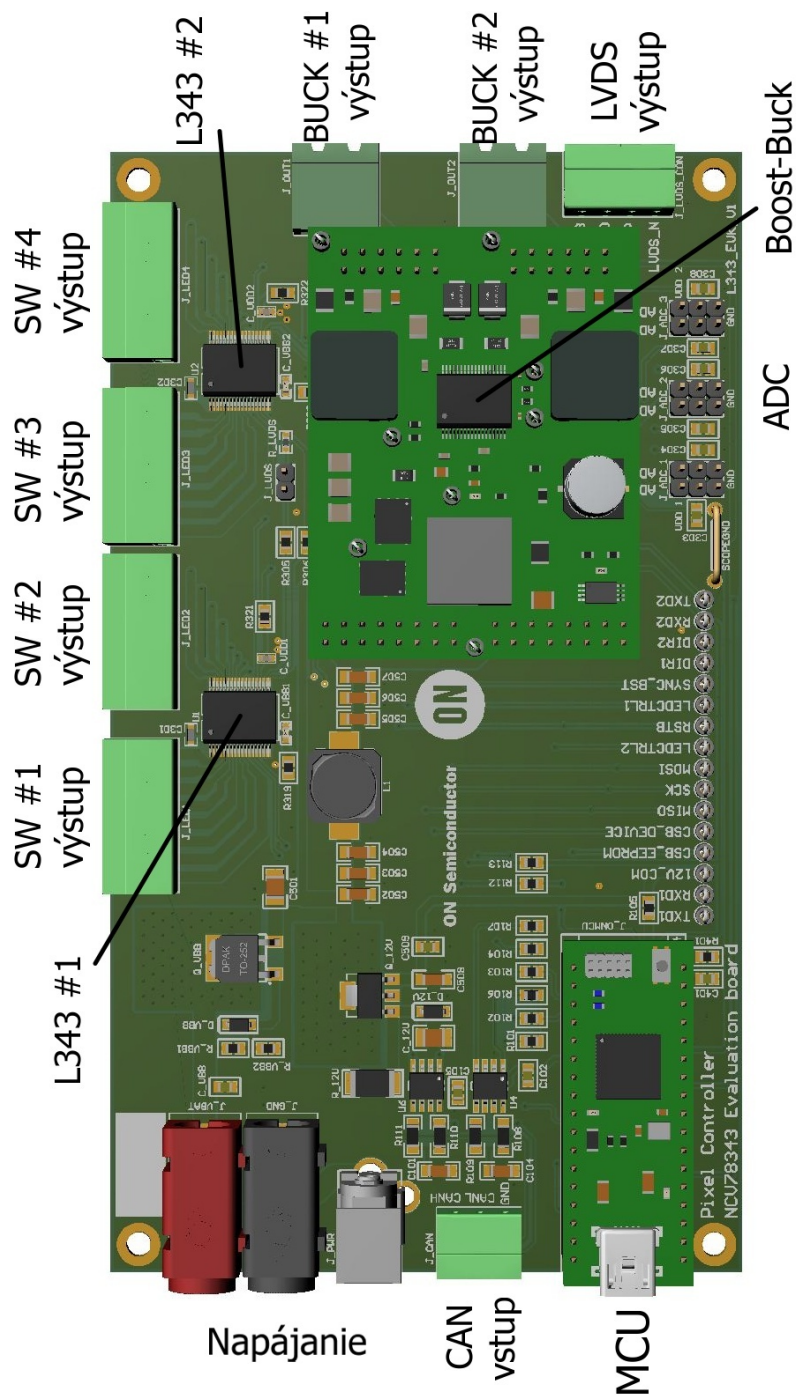
Všetky nevýhody prvej generácie NCV78247 sú vyriešené v druhej generácii pixel kontroléru NCV78343. V časti 2.2 sú popísané rozhrania CAN a LVDS, ktorými disponuje tento obvod a výrazne uľahčuje prácu a návrh celkovej architektúry a cenu celého modulu. Obe rozhrania sú iba dvojvodičové a definované aj na dlhšie vzdialenosti. Ďalším

rozdielom medzi prvou a druhou generáciou je prítomnosť I2C zbernice a troch AD vstupov, ktoré môžu nahradiť základnú funkčnosť u mikroprocesora. V prípade I2C zbernice ide primárne o možnosť pripojiť externú pamäť pre uloženie hodnôt.

Pre čo najväčšiu optimalizáciu v počte súčiastok, čo vedie k zníženiu výslednej ceny, potlačenie efektu pri posunu GND zeme, takže pixel kontrolér môže byť umiestnený na rôznych moduloch je využitie lokálnej LVDS zbernice. V praxi to znamená, že BCM jednotka posiela dáta na CAN zbernici. Nasleduje prevodník UART na CAN a tie sú prijaté prvou súčiastok. Ďalšie moduly sú rozvetvené vo vozidle po lokálnej LVDS zbernici. Takýmto spôsobom je na module osadená len obvod NCV78343 a jeden prevodník.

3 Návrh evaluačnej dosky

Praktická časť práce sa zaoberá návrhom evaluačnej dosky pre NCV78343. Schéma vychádza z principiálneho blokového zapojenia na obrázku 2.2. Výsledný návrh je zobrazený v prílohe A.1 a 3D náhľad na obrázku 3.1.



Obr. 3.1: 3D pohľad evaluačnej dosky

Schému možno rozdeliť na 5 funkčných blokov, ktoré budú ďalej popísané:

- TOP - zobrazuje spojenie všetkých častí aplikácie. Vstupná napájacia časť, ktorá vytvára potrebné napájacie vetvy pre samotnú súčiastku NCV78343, zvyšujúci menič a procesorovú časť. V tomto zobrazení je taktiež logika pre rozhranie CAN PHY aplikáciu.
- BOOST-BUCK - ide o možnosť pripojenia samostatnej dosky s meničom pre napájanie série LED.
- NCV78343 - popisuje zapojenie súčiastky NCV78343 ¹ a externej EEPROM (Elektronicky Vymazateľná Pamäť iba pre čítanie - Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) pamäte.
- Procesor - obvod pre komunikáciu s NCV78343 a meničom NCV78763 [14].
- Napájanie - poskytuje napájacie vetvy pre celú aplikáciu.

Evaluačná platforma spĺňa niekoľko funkčných užívateľských prístupov, ktorých konfigurácia je popísaná v pravej časti prílohy A.1.

3.1 Blok napájania

Celková napájacia štruktúra je zobrazená v prílohe A.5.

Môžeme vidieť tri základné časti:

- vstupná ochrana proti prepólovaniu,
- LC filter pre vstup zvyšujúceho meniča, ktorý ďalej vytvára potrebné napätie pre sériu LED,
- 12V napájacia vetva.

Ďalej sú popísané jednotlivé bloky.

¹V aplikácii budú použité dve súčiastky pre možnosť simulácie minimálne dvoch súčiastok zároveň

Ochrana proti prepólovaniu je na vstupe, ktorú možno vidieť na obrázku 3.2.



Obr. 3.2: Ochrana proti prepólovaniu

Odpory R_{VBB1} a R_{VBB2} tvoria delič napätia, ktoré určia hodnotu napätia pre gate PMOS tranzistoru ATP114 tak, aby bol za normálnych okolností tranzistor zopnutý. Zenerova dióda D_{VBB} obmedzuje napätie na prechode drain-gate na úroveň 12 V. Takáto ochrana je potrebná, keďže aplikácia umožňuje ísť s napätím batérie až na úroveň 40 V a maximálne dovolené napätie na tomto prechode je 20 V [2]. Za tranzistorom je filtračný kondenzátor C501.

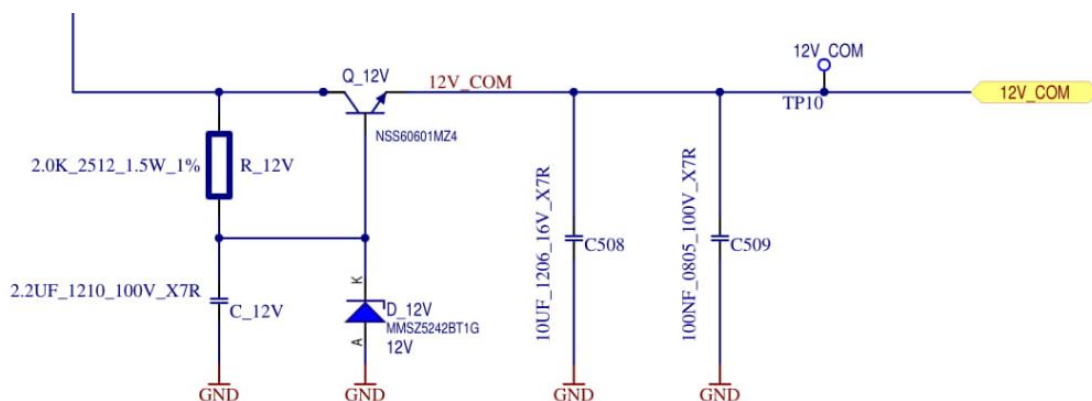
V prípade prepólovania sa na V_{BAT} objaví záporné napätie voči GND a tranzistor Q_{VBB} bude zatvorený.

Prúd odoberaný v prípade prepólovania:

$$I = \frac{V_{BB} - D_{VBB}}{R_{VBB1}} = \frac{14 - 0.6}{10000} = 1.34 \text{ [mA]} \quad (3.1)$$

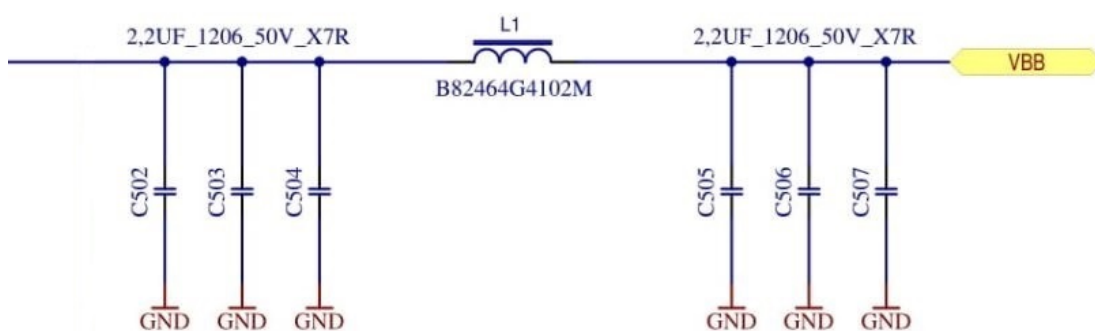
12V napájacia vetva je pripojená za prepólovacou ochranou, obrázok 3.3. Ide o zapojenie tranzistora ako emitorový sledovač. Použitá zenerova dióda MMSZ5242BT1G [8] má definované typické zenerovo napätie 12 V a prúd 20 mA. Pre výpočet odporu R_{12V} je predpokladané vstupné napätie batérie 40 V.

$$R_{12V} = \frac{V_{BAT} - V_Z}{I_Z} = \frac{40 - 12}{0.02} = 1400 \text{ } [\Omega] \quad (3.2)$$



Obr. 3.3: Napájacia 12V vetva

Filter pre zvyšujúci menič slúži na odrušenie možných zákmitov z cievky zvyšujúceho meniča, obrázok 3.4.



Obr. 3.4: LC filter

Výstup VBB je pripojený na vstup zvyšujúceho meniča, kde z topológie a princípu zvyšujúceho meniča vyplýva, že v obvode môžu nastať napäťové špičky, ktoré by mali byť týmto filtrom odrušené. Tento step-up menič obsahuje cievku, typicky o hodnote 10 μH . Hodnota cievky použitá v LC filtri by mala byť približne 10-krát menšia, preto je použitá hodnota 1 μH . Dané hodnoty následne upravuje zákazník podľa aplikácie.

Keďže sa jedná o zapojenie v takzvanom PÍ zapojení, filtrácia slúži ako odrušenie napäťových špičiek zo step-up smerom k batérii ale filtruje aj možné napäťové kmity na batérii smerom k obvodu.

3.2 Procesor

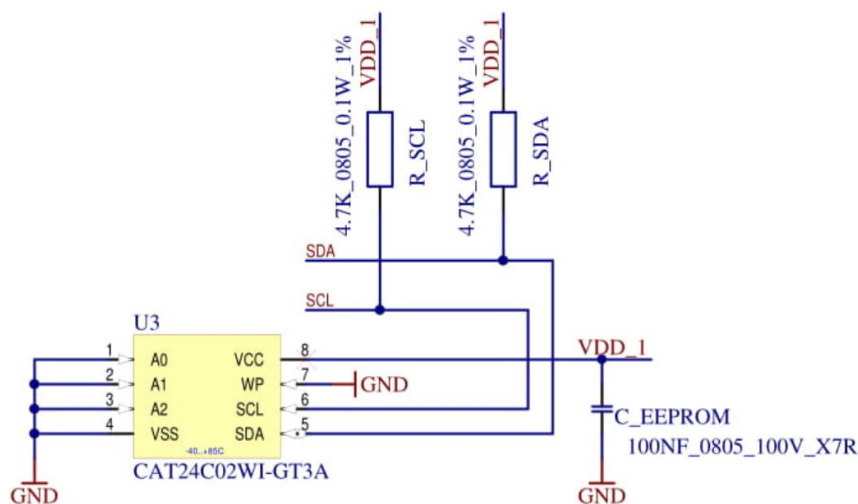
Umožňuje pripojenie externého komunikačného modulu, ktorý komunikuje s PC. Sú vyvedené základné komunikačné linky pre UART a SPI. Celá schéma je zobrazená v prílohe A.4. Protokol umožňuje komunikovať s procesorom pomocou jednoduchých textových príkazov. Za základné dva možno považovať „set“ a „get“ príkazy, kde v prípade „set“ ide o nastavenie registra a v prípade „get“ o napríklad vyčítanie hodnoty registra. Detailnejší popis bude popísaný v časti PC software.

3.3 Obvod NCV78343

Na obrázku A.3 je zobrazené zapojenie súčiastky NCV78343. Veľkou výhodou NCV78343 je, že nepotrebuje veľké množstvo ďalších, či už aktívnych alebo pasívnych súčiastok pre svoju funkčnosť.

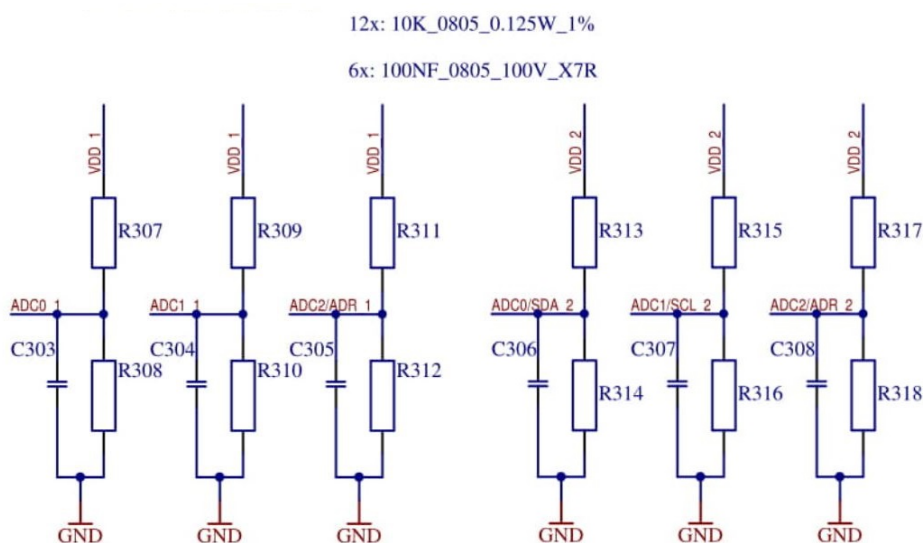
- C_{VDD} - kondenzátor pre regulátor VDD napätia, typická hodnota je 100 nF.
- C_{301} - kondenzátor pre ovládanie externých prepínačov, typická hodnota je 220 nF.
- C_{VBB1} - filtračný kondenzátor pre vstupné napätie batérie VBB, typická hodnota je 100 nF.

Pripojenie externej EEPROM pamäte je pomocou I2C zbernice na pinoch SDA (Sériová dátová linka - Serial Data Line) a SCL (Sériová linka hodín - Serial Clock Line), obrázok 3.5.



Obr. 3.5: EEPROM pamäť

Nakoniec ide o pole deličov s rezistormi, aby sa prispôbil rozsah meraného napätia k napäťovému rozsahu vnútorného AD prevodníka s referenciou 1,205 V. Tie sú pripojené k vstupom AD prevodníka, obrázok 3.6.



Obr. 3.6: Pole pre ADC vstupy

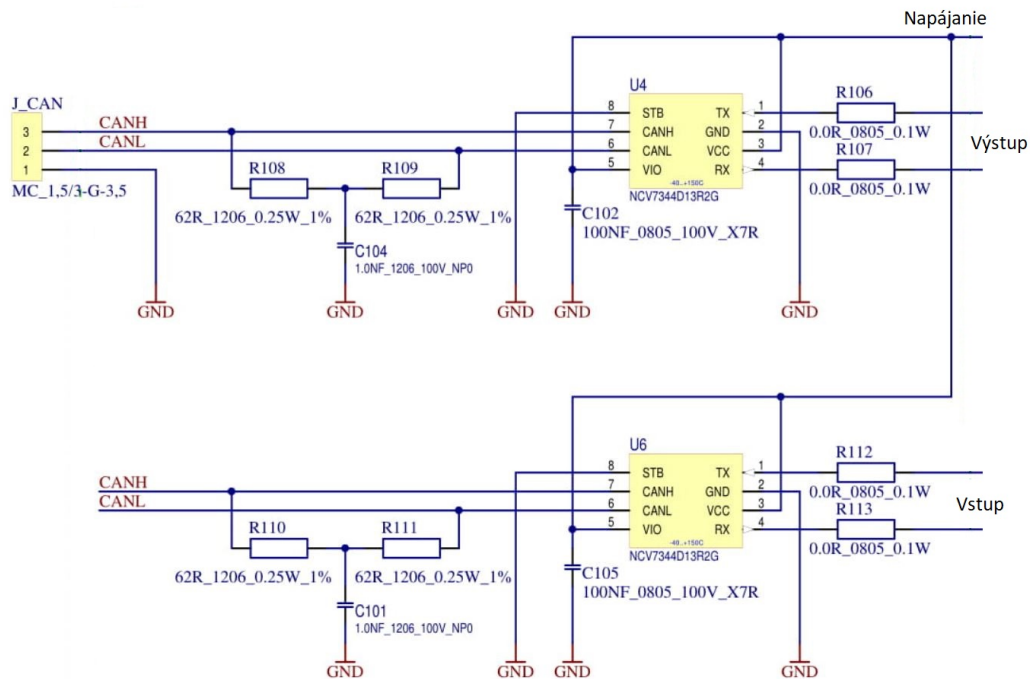
3.4 Zvyšujúci menič

Umožňuje pripojenie externého modulu, ktorý generuje definované napätie a prúd pre napájanie série LED. Je možné použiť modul s osadenou súčiastkou NCV78763 [14]. LED driver NCV78763 generuje výstupné napätie až do 60 V a jednosmerný prúd do úrovne 1.6 A.

3.5 Bloková schéma

V prílohe A.1 je zobrazené modulárne spojenie jednotlivých blokov, fyzická vrstva zbernice CAN, vstupno-výstupné konektory a podporované komunikačné zapojenia. Flexibilita výberu komunikácie je zabezpečená odpormi s hodnotou 0 Ω .

Pre vytvorenie pomyselnéj slučky pre CAN rozhranie sú použité dva UART - CAN prevodníky NCV7344 [10], obrázok 3.7.



Obr. 3.7: Slučka pre CAN zbernicu

Výhodou takéhoto zapojenia je možnosť otestovať zapojenie v konfigurácii, kde na vstupe máme UART, ale aj komunikácia od externej jednotky po CAN zbernici s využitím konektoru J_CAN.

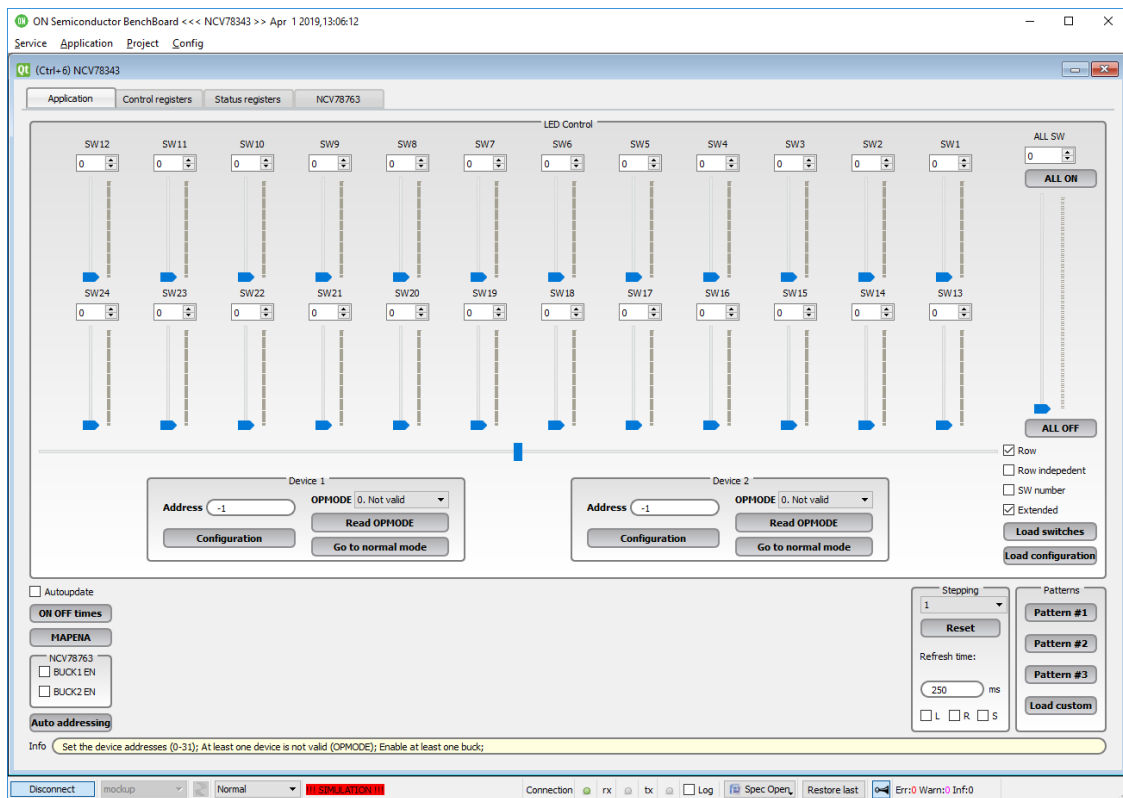
Aby bolo možné simulovať komunikáciu po LVDS zbernici 2.1.1, je použitý UART - LVDS prevodník NBA3N206SDG [9].

4 Návrh ovládacieho softvéru

Ovládací softvér (SW) slúži k jednoduchéj obsluhu viacerých súčiastok zároveň. Softvér je napísaný v programovacom jazyku C++ a prostredí Qt Creator. Po zapnutí a pripojení ku mikrokontroléru sa spustí základné okno, ktoré je rozdelené na štyri záložky:

- application - umožňuje obsluhu až 24 tranzistorov v podobe ovládania hodnoty jasu v rozmedzí 0 až 1023,
- kontrolné registre - prístup ku všetkým kontrolným registrom, tzn. registrom, ktoré je možné zapísať a čítať,
- status registre - zobrazuje statusové registre, ktoré je možné iba vyčítať,
- NCV78763 - okno pre ovládanie prúdového zdroja.

Aplikačné menu, obrázok 4.1, podporuje ovládanie dvoch súčiastok v reálnom čase. V prípade použitia troch a viacerých súčiastok je potrebné meniť adresu manuálne. V hornej časti sa nachádza nastavenie jasov LED a ich vertikálny či horizontálny posuv. Je možné vybrať jeden z režimov, akým chceme ovládať horizontálny posuv. Posun vzoru môže ísť jednotlivo podľa označenia LED, nezávisle podľa riadku (konfigurácia 2x12) alebo začiatok druhého riadku sa presunie na koniec prvého (konfigurácia 1x24). Pod týmto ovládaním je výber automatickej aktualizácie jasu pri akomkoľvek pohybe v ovládacej časti. Tento krok zahŕňa výpočet ON, OFF a TR hodnôt a ich odoslanie do súčiastok. Hodnoty priamo vyplývajú z požadovaného jasu. ON a OFF čas nadobúdajú hodnoty 0-1023, kde ON znamená zopnutie tranzistora a OFF čas znamená rozopnutie tranzistora. Takto je definovaná PWM hodnota pre každý tranzistor. Pri návrhu je potrebné si uvedomiť, že jas LED je nepriamoúmerný tomuto času, čím dlhšie je tranzistor zopnutý, tým je jas menší. Tretia hodnota TR (transition vektor) sa aplikuje v prípade požiadavky na zopnutie dvoch alebo viacerých tranzistorov zároveň. Z topológie obvodu táto udalosť nie je možná a je potrebné ich vykonať sekvenčne za sebou. Nastavením hodnoty TR dôjde k posunu ON času a tak je možné udalosť vykonať. Algoritmus pre výpočet je rovnaký ako v prvej generácii NCV78247 [12] a je implementovaný v ovládacom GUI. V pravej dolnej časti sú prednastavené vzory jasu, prípadne je možné definovať vlastný a ten následne aplikovať.



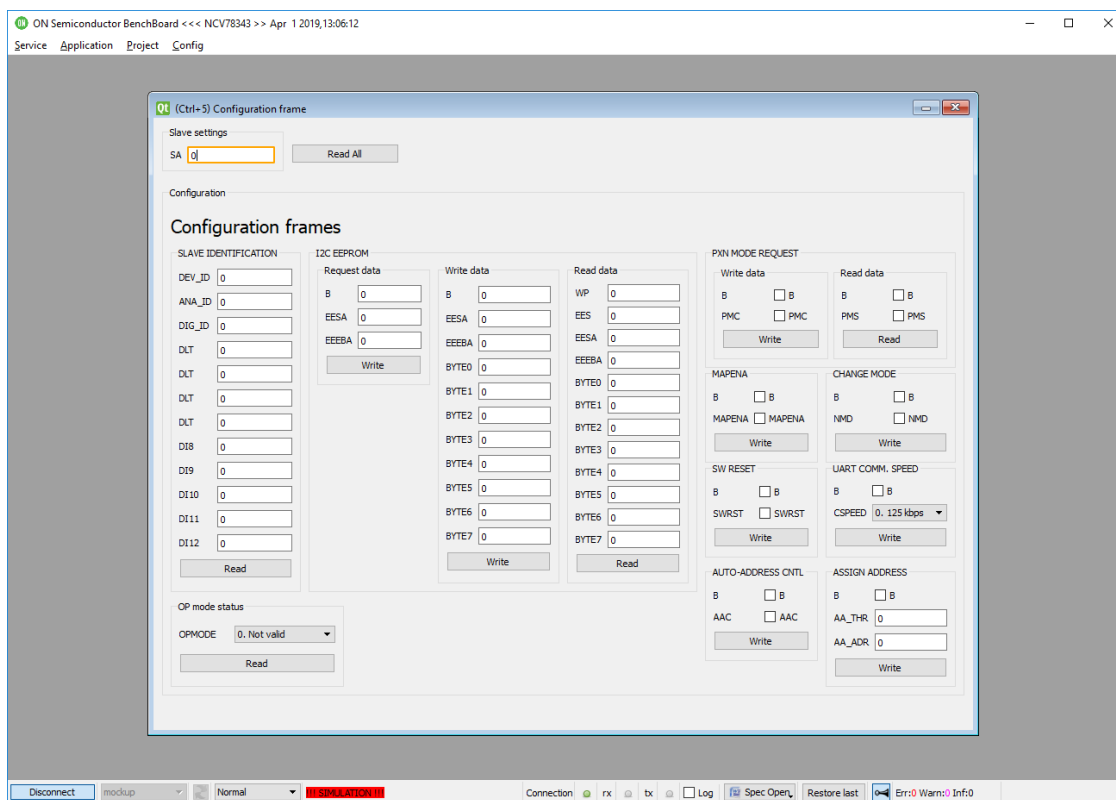
Obr. 4.1: Aplikačné menu

Ako už bolo spomenuté, k dispozícii sú dva rýchle prístupy k súčiastkam. Pre každú je potrebné zadať adresu a následne je možné vyčítať operačný status, prípadne otvoriť konfiguračné okno, obrázok 4.2.

Dostupné konfiguračné operácie:

- vyčítanie status a operačného kódu,
- prístup k externej pamäť cez I2C zbernicu,
- nastavenie a spätné vyčítanie repeater-slave PMC módu, ktorý v prípade prichádzajúcich dát na UART zbernicu kopíruje tieto dáta ďalej na LVDS zbernicu,
- príkaz MAPENA aplikuje nastavené ON, OFF a TR hodnoty na začiatku ďalšieho PWM cyklu,
- zmena módu, v prípade, že súčiastka nemá naprogramovanú OTP pamäť, po spustení je súčiastka v OTP konfiguračnom móde a je potrebné odoslať požiadavku na vstup do normálneho módu, kde je aktivovaná logika pre ovládanie tranzistorov,
- softvérový reset vykoná reset súčiastky,
- nastavenie komunikačnej rýchlosti v rozsahu 125 kbps až 1000 kbps,

- uvedenie súčiastky do „Auto addressing“ módu a nastavenie požadovaných parametrov - adresa súčiastky, ktorá sa má používať, a ktorú bude ďalej možné zapísať do OTP pamäte pre jej trvalé uchovanie a prahová hodnota pre AD komparátor.



Obr. 4.2: Konfiguračné okno

Ďalej z aplikačnej záložky je prístupné menu „Auto addressing“, obrázok 4.3. Po nastavení všetkých pripojených súčiastok - ich adries, prahového napätia pre AD komparátor a poradí prúdového zdroja sa spustí sekvencia príkazov, ktorá nastaví adresy všetkým súčiastkam.

Táto sekvencia pozostáva z nasledujúcich krokov:

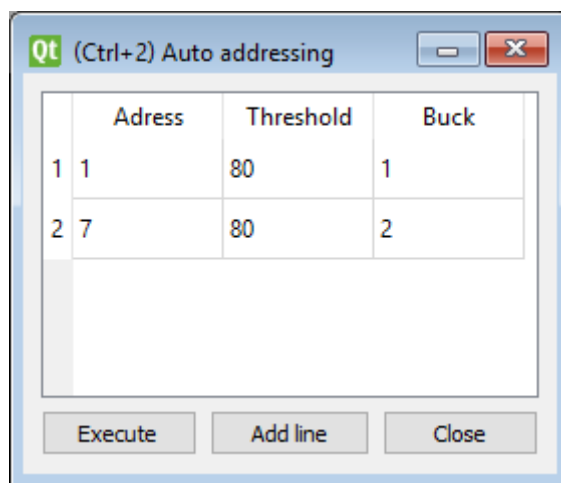
1. vypnutie všetkých prúdových zdrojov,
2. zapnutie prúdového zdroja pre prvý riadok,
3. odoslanie broadcast konfiguračnej operácie ¹ s požiadavkou na „Auto addressing“ mód a nastavenie požadovanej adresy s prahovou hodnotou pre AD komparátor. Zapnutie prúdového zdroja vyvolá, že cez LED bude tiecť prúd a tak vznikne úbytok napätia na nich, ktorý súčiastka zmeria. V prípade, že zmeraná hodnota

¹ broadcast - nezávisle na adrese, všetky súčiastky prijmu túto správu

je vyššia než nastavené prahové napätie, tejto súčiastke bude nastavená požadovaná adresa. V tomto kroku je potrebné zabezpečiť aby bol aktívny iba jeden prúdový výstup.

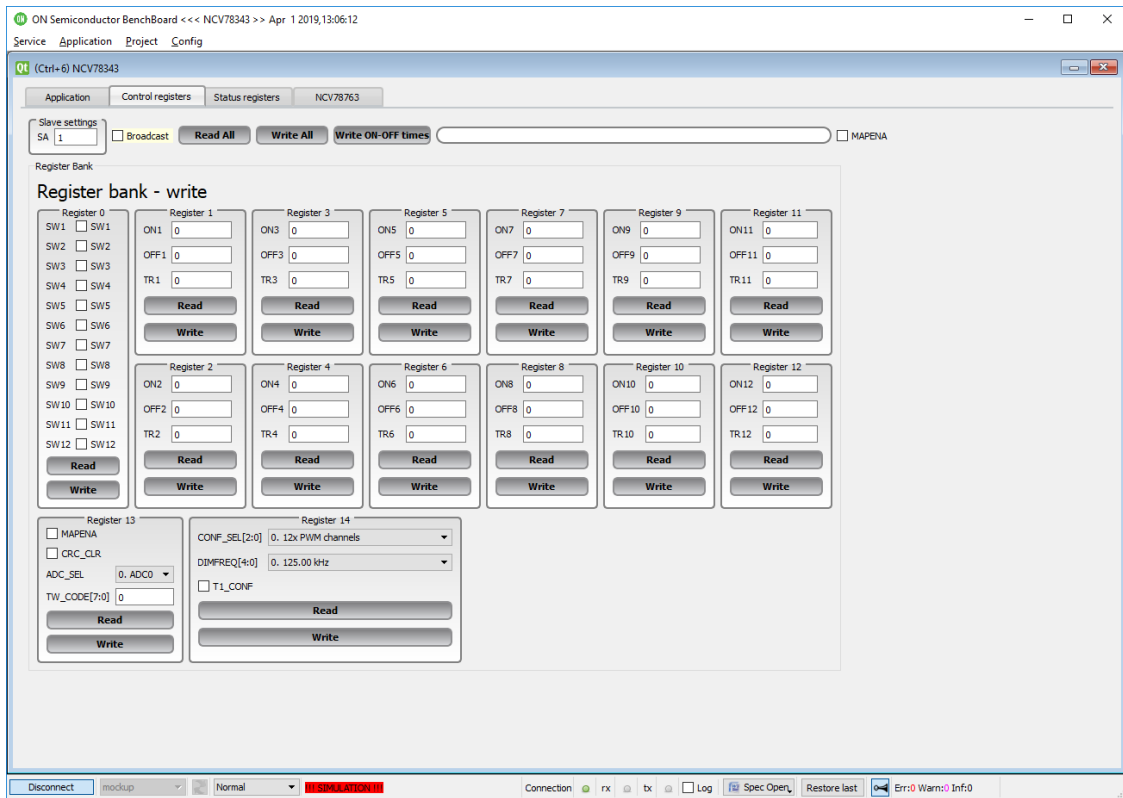
4. Vypnutie prúdového zdroja pre prvý riadok.
5. Kroky 2 až 4 sa opakujú pre každý riadok.

Jednotlivé kroky sa môžu meniť v závislosti na použitej topológii. Postup popísaný vyššie je správny pre prípad jedného master UART zariadenia a viacerých slave zariadení na jednej zbernici. V prípade topológie jedného zariadenia pripojeného na UART a zvyšný pokračujú cez LVDS zbernicu, je najskôr potrebné toto prvé zariadenie nastaviť do PMC módu.



Obr. 4.3: Auto addressing proces

V menu ovládacích registrov, obrázok 4.4, sú zobrazené všetky zápisové registre. Po zmene jasů v aplikačnom menu a zapísaní hodnôt do súčiastky je možné tieto hodnoty vyčítať v tomto okne. Register 0 v ľavej časti je priamy prístup k tranzistoru. Zapísaním do tohto registru dôjde k jeho zopnutiu alebo rozopnutiu. Registre 12 a 13 obsahujú prístup k výberu AD vstupu, k výberu usporiadania LED a frekvencie spínania tranzistorov.



Obr. 4.4: Ovládacie registre

Tretia záložka, obrázok 4.5, poskytuje prehľad o stave súčiastky. Prvé dva registre 15 a 16 zobrazujú stav súčiastky, ako napríklad počet chýb pri prenose dát alebo chybové stavy. Ďalšie dva registre 17 a 18 poskytujú hodnoty z AD prevodníku a prepočítanú hodnotu na napätie. Všetky hodnoty sú 8 bitové, takže je použitý všeobecný vzťah:

$$U = \frac{U_{REF}}{255} * U_{ADC} \quad [V] \quad (4.1)$$

kde platí:

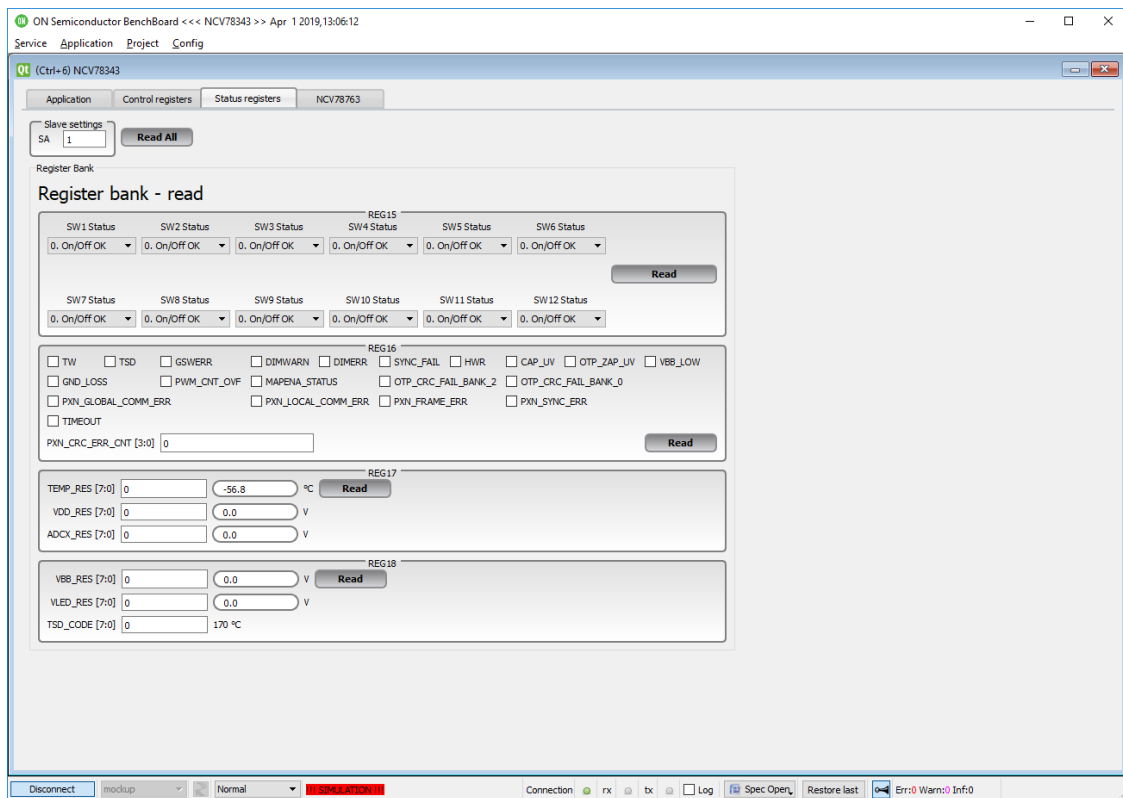
$$U_{VDD_{REF}} = 4.0$$

$$U_{ADCX_{REF}} = 1.2$$

$$U_{VLED_{REF}} = 66.1$$

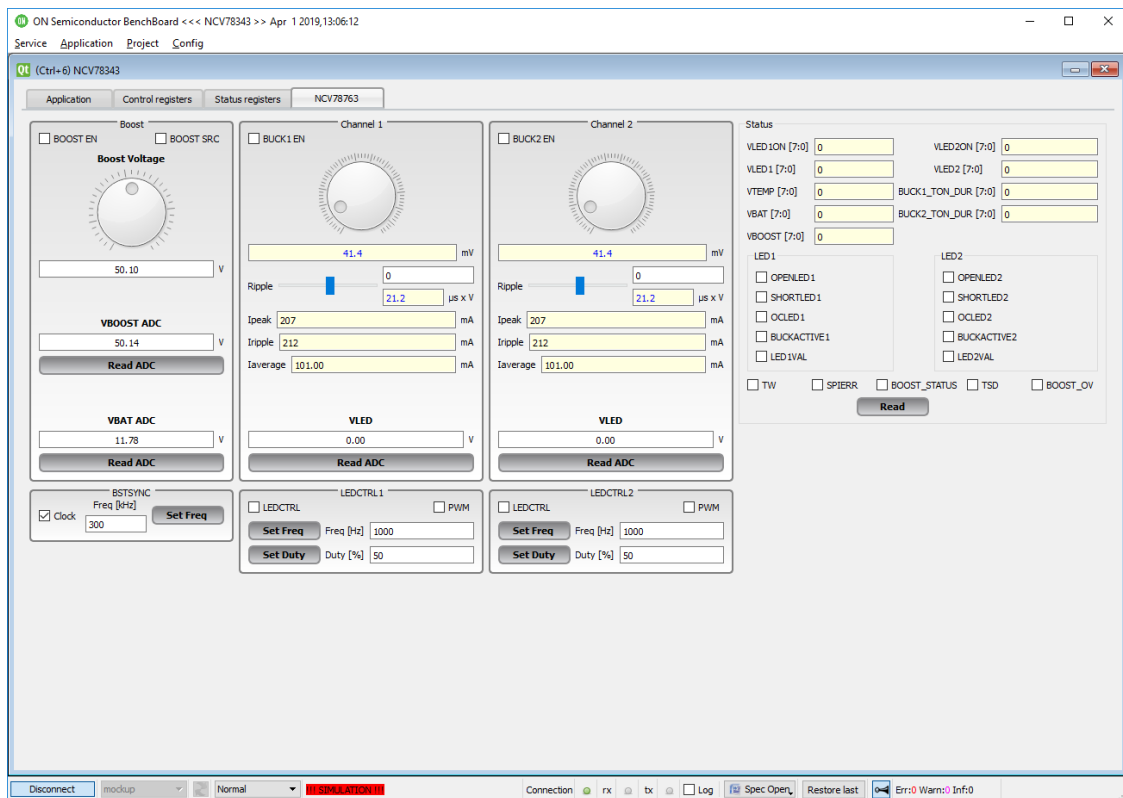
$$U_{VBB_{REF}} = 35.0$$

$$U_{ADC} = \text{hodnota registra}$$



Obr. 4.5: Status registre

Posledná záložka 4.6 je rozdelená na 4 časti, v ktorých sa nastavuje výstupné napätie a prúd. V ľavej časti je nastavenie zvyšujúceho meniča. Ďalšie dve časti určujú výstupný prúd. Tento prúd sa nastaví pomocou maximálneho/špičkového prúdu a zvlnenia. Posledná časť v pravo zobrazuje stav súčiastky.



Obr. 4.6: NCV78763 záložka

Softvér spolu komunikuje s mikroprocesorom, ktorému odosiela textové príkazy a očakáva odpoveď v podobne ok, err alebo vyčítaná hodnota. Týmto spôsobom je možné zapnúť a ovládať ľubovoľnú perifériu mikrokontroléru. V aplikácii ide prevažne o ovládanie a možnosti odosielať dáta pomocou SPI zbernice a upravenej UART zbernice pre podporu PXN komunikačného protokolu. Z ktorejkoľvek časti okna je možné zapnúť zobrazenie logovania komunikácie a tak simulovať aké dáta sú odosielané. Pre zápis po PXN zbernici bol vytvorený komunikačný protokol medzi softvérom a mikrokontrolérom v nasledovnom formáte ²:

PC : set SERxPXNDATA = *AABBCC*

kde platí:

x = číslo použitého UART periférie

AA – dĺžka prerušenia na začiatku komunikácie

BB – počet bytov, ktoré majú byť odoslané v časti C

CC – odosielané dáta

²Všetky hodnoty sú zapísané v hex formáte

Po odoslaní požiadavky o vyčítanie z registra je možné tieto dáta získať z mikrokontroléra po odoslaní nasledujúce rámca:

PC : get SERxDATA

Ukážka komunikácie pre vyčítanie operačného módu pre súčiastku s adresou 1:

PC : set SER2PXNDATA = 0E03556186

MCU : SER2PXNDATA=ok

PC : get SER2DATA

MCU : SER2PXNDATA=55618604A7

5 Meranie parametrov súčiastky

Meranie parametrov súčiastky možno rozdeliť do niekoľkých základných blokov:

1. meranie spotreby v rôznych nastaveniach súčiastky,
2. synchronizácia a komunikácia pri rôznych komunikačných rýchlostiach a topológiách obvodu,
3. testovacia sekvencia dimovania v priamom a PWM režime,
4. overenie diagnostických status bitov.

5.1 Prúdová spotreba obvodu

Jeden zo základných parametrov je prúdová spotreba. Obvod NCV78343 umožňuje vypnutie ovládacej časti LVDS zbernice v prípade nečinnosti, čím sa zníži celková spotreba. Ovládacia časť je aktívna a tým aj zvýšená spotreba pri komunikácii. Pre dosiahnutie čo najmenšieho prúdového odberu bol zavedený mód HIZ (Konfigurácia so zníženou spotrebou na LVDS zbernici), čo zabezpečí, že ovládanie LVDS zbernice bude vypnuté a spustí sa len v prípade odpovede. Pre meranie bola vybraná topológia 6, ktorú možno vidieť v prílohe A.1. Pre čo najpresnejšie meranie sa odstránili nulové odpory R_{321} a R_{322} . Obvody NCV78343 U_1 a U_2 sú napájané na pine 18 V_{BB} , kde zo schémy A.3 vyplýva, že celkový prúd musí tiecť odpormi R_{319} a R_{320} . Očakávaná prúdová spotreba bola v rozsahu 5 mA až 20 mA a prúdový rozdiel obvodu v režime so zníženou spotrebou v porovnaní s obvodom v normálnom režime sa očakáva približne 10 mA. Z dôvodu čo najpresnejšieho merania boli tieto nulové odpory nahradené odpormi o hodnote 51 Ω . Následne spotreba bola meraná na základe úbytku napätia na tomto odpore a jeho vydelenia hodnotou 51 Ω .

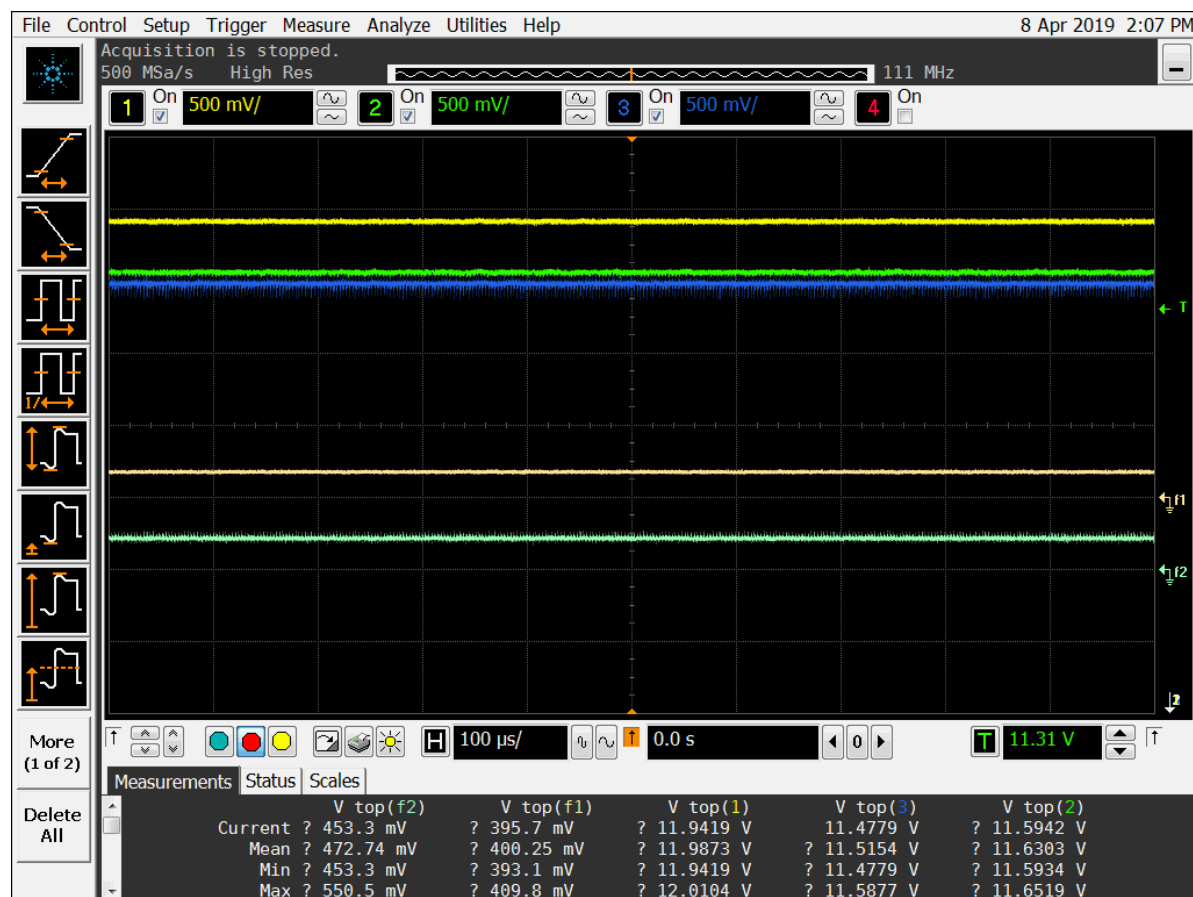
Tab. 5.1: Prúdová spotreba

| I_1 | I_2 | Poznámka |
|----------|----------|---|
| 7,84 mA | 8,88 mA | Obe súčiastky bez adresy |
| 8,80 mA | 9,73 mA | Obe súčiastky v OTP móde bez komunikácie |
| 17,16 mA | 17,49 mA | Obe súčiastky v OTP móde s komunikáciou |
| 9,35 mA | 9,94 mA | Obe súčiastky v normal móde bez komunikácie |
| 17,61 mA | 18,43 mA | Obe súčiastky v normal móde s komunikáciou |

Pre ukážku sú zobrazené dve základné merania. Pre obe merania je platný nasledovný popis: žltá - napätie batérky V_{BB} ; zelená - napätie na prvom odpore R_{319} ; modrá -

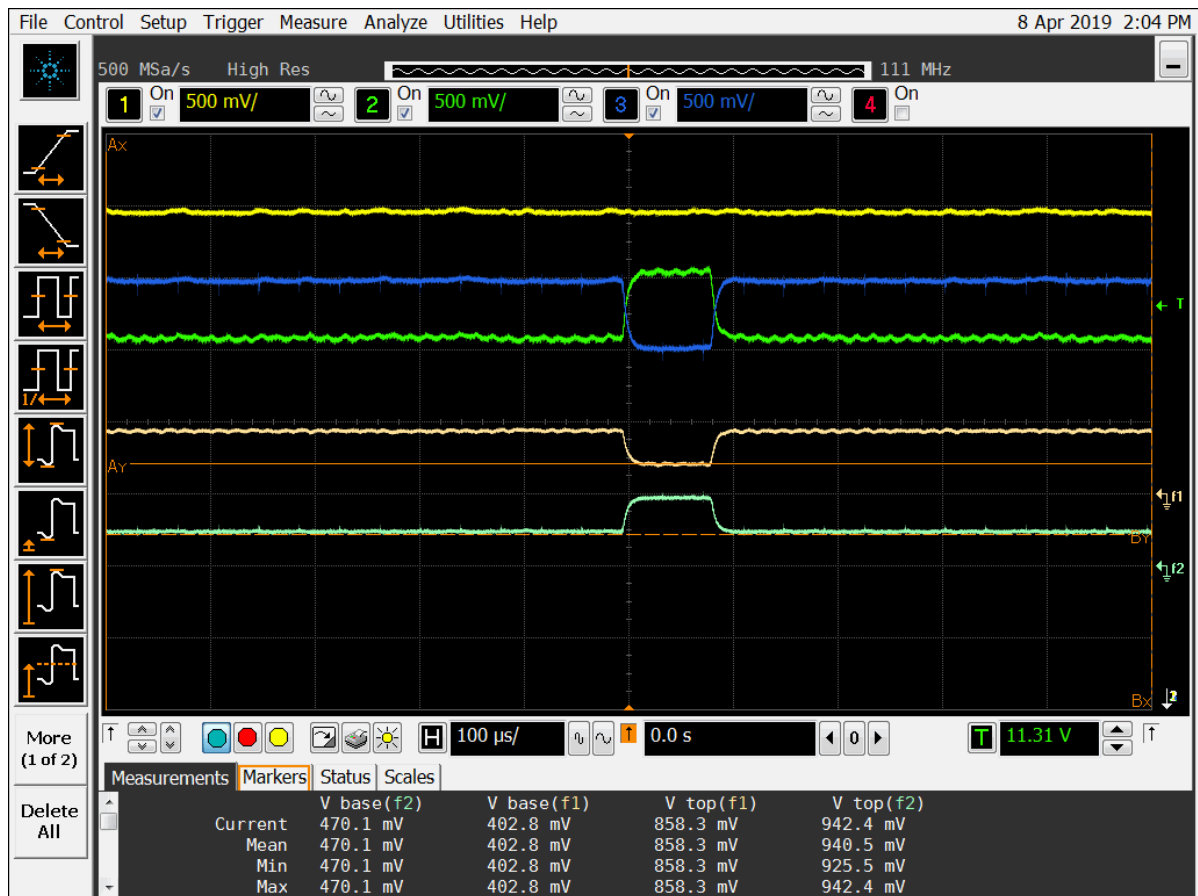
napätie na druhom odpore R_{320} ; f_1 - rozdiel napätí V_{BB} a V_1 , takže úbytok napätia na prvom odpore; f_2 - rozdiel napätí V_{BAT} a V_2 , takže úbytok napätia na druhom odpore. Vydelením funkcií f_1 alebo f_2 hodnotou 51 dostaneme hodnotu prúdu, ktorý tečie do súčiastky.

Prvé meranie je v prípade nečinnosti, kedy nie je priradená žiadna adresa a so súčiastkou sa nekomunikuje. Tento prípad zobrazuje priebeh 5.1.



Obr. 5.1: Prúdová spotreba v nečinnosti

Priebeh 5.2 zobrazuje proces čítania z druhej súčiastky, kedy prvá súčiastka je v PMC móde a druhá je nastavená ako slave.



Obr. 5.2: Prúdová spotreba pri vyčítaní z druhej súčiastky

Zo zeleného priebehu môžeme vidieť, že vyššia spotreba je na prvej súčiastke s výnimkou doby odpovede druhej súčiastky. Počas tejto doby prevezme kontrolu nad LVDS zbernicou druhá súčiastka, ktorá odpovedá a z modrého priebehu môžeme vidieť, že sa prúdová spotreba počas tejto komunikácie zvýši.

Priebeh 5.3 zobrazuje stav pri čítaní z druhej súčiastky. Žltý a zelený priebeh zobrazujú komunikáciu na diferenciálnej LVDS zbernici. Ich rozdiel a tým aj celú komunikáciu možno vidieť na rozdielovej matematickej funkcii f_1 . Modrý a červený priebeh zobrazujú napätia na R_{320} o hodnote 51Ω . Z priebehu je zrejmé, že spotreba sa zvýši len na potrebný čas, kedy súčiastka odpovedá v dĺžke dvoch bytov. Komunikačná rýchlosť 250 kbps zodpovedá dĺžke jedného bitu $4 \mu s$. Jeden byte spoločne so start a stop bitom je 10 bitov. Odpoveď sa skladá z 1 bytu dát a 1 byte kontrolný súčet. Zmeraná dĺžka odpovede je $80 \mu s$ čo súhlasí aj s teoretickým výpočtom.

$$t_{odpoved} = 4 * 10 * 2 = 80 [\mu s] \quad (5.1)$$



Obr. 5.3: Čítanie z druhej súčiastky

5.2 PXN komunikácia

Obvod NCV78343 podporuje 4 komunikačné rýchlosti. Pre každú rýchlosť bola vykonaná operácia čítanie operačného módu, čím sa overila funkčnosť pracovať na všetkých rýchlostiach. Topológia zapojenia je rovnaká ako v prípade merania prúdovej spotreby. Pre ukážku je zobrazené čítanie na najnižšej komunikačnej rýchlosti 125 kbps, priebehy B.1 a B.2. Komunikácia pozostáva z prerušenia, synchronizačného bytu 0x55, PID1 bytu 0x61, PID2 bytu 0x86, odpovede 0x04 a kontrolného súčtu 0xA7. Priebeh B.1 potvrdzuje, že v prípade čítania z adresy prvej súčiastky sa na LVDS zbernici prejavajú len prvé štyri byty komunikácie, pretože súčiastka deteguje svoju adresu a prevezme iniciatívu na zbernici UART.

Ďalšou súčasťou merania bolo časové oneskorenie medzi master a slave zariadením. Meranie bolo zamerané na oneskorenie súčiastky v PMC móde pri prenose dát z UART

zbernice na LVDS zbernicu. Z priebehu C.1 vidíme, že časové oneskorenie je 113,8 ns. Oneskorenie medzi modrým a červeným priebehom, ktoré zobrazuje priebeh na UART zbernici medzi výstupom mikroprocesoru a vstupe súčiastky je spôsobené prevodníkom CAN na UART.

Tretie meranie je zamerané na konfiguráciu súčiastky vo WIRED OR (Dominantný bit - logická 1; Recessive bit - vysoká impedancia) móde. Pri štandardnej konfigurácii je dominantný bit logická 1 a recesívny bit logická 0. Vo WIRED OR móde je recesívny bit ako stav vysokej impedancie, takže dominantný bit logická 1 má väčšiu prioritu a nemôže na zbernici dôjsť k nedefinovanému stavu. Štandardná dĺžka prerušenia je $11 T_{bit}$, preto je potrebné vždy dbať na aktuálne používanú prenosovú rýchlosť. V prípade WIRED OR módu môže dôjsť k zahĺteniu LVDS zbernice a to pri pokuse o vyčítanie z nedefinovanej adresy. Meranie opäť vychádza z topológie číslo 6 podľa A.1. Po odoslaní reťazca pre čítanie z nedefinovanej adresy prepošle prvá súčiastka U_1 tento reťazec z UART zbernice na LVDS zbernicu a očakáva odpoveď. Po odoslaní ďalšej žiadosti o vyčítanie zo správnej adresy pre U_2 dôjde k situácii zobrazenej v prílohe D.1. Pri porovnaní modrého priebehu na UART zbernici a čierneho priebehu na LVDS zbernici pozorujem, že súčiastka v PMC móde nepreniesla celé prerušenie na LVDS zbernicu a tým pádom nemohli ďalšie súčiastky odpovedať. Riešením je odoslanie predĺženého prerušenia o dvojnásobnej dĺžke než v normálnom režime. Tento prípad zobrazuje priebeh D.2. Pozorujem, že súčiastka U_1 prenesie na LVDS zbernicu celý dátový rámec a súčiastka U_2 správne odpovedá.

5.3 Stmievanie tranzistormi

Táto sekcia pojednáva o stmievaní LED pomocou tranzistorov. Meranie bolo zamerané na sledovanie V_{LED} napätia pri rôznej nastavenej striede PWM pulzov. Obvod NCV78343 obsahuje 10-bitový PWM čítač, takže je možné nastaviť hodnotu jasu 0 až 1023. Keďže nebolo úlohou ani by nebolo možné sem vložiť všetky možné hodnoty, pre ukážku, bola použitá hodnota 1, čo zodpovedá jednému tiku čítača a znamená približne 0,1 % jasu. Priebeh napätia je zobrazený na obrázku E.1. Dĺžka jedného tiku súvisí s nastavením obvodu. NCV78343 podporuje 20 rôznych frekvencií dimovania od hodnoty 125 kHz až 1000 kHz. Na základe tohto je možné spočítať dĺžku jedného tiku ako prevrátenú hodnotu frekvencie a čas, ktorý je potrebný pre celý PWM čítač. Priebeh E.2 zobrazuje priebeh napätia pri frekvencii 125 kHz. Zobrazená zmeraná hodnota je 8,08 ms, čo súhlasí s predpokladanou dobou pre 125 kHz čítač:

$$t_{pwm} = \frac{1}{125000} * 1023 = 8,18 [ms] \quad (5.2)$$

5.4 Diagnostické status bity

Obvod obsahuje 21 diagnostických údajov, ktoré sa nachádzajú v registry 16. Pre každý tranzistor je zavedený status register, ktorým možno zistiť v akom stave sa nachádza. Prioritne ide o detekciu externe pripojených LED. Poruchou môže dôjsť k ich zničeniu, či už skratovaním alebo ako otvorený obvod. V oboch prípadoch musí aplikácia správne reagovať a daný tranzistor vyradiť z hlavnej slučky obsluhy. Jednalo sa o empirické meranie, kedy bolo nastavené, aby všetky tranzistory boli rozopnuté, takže celkový prúd tiekol LED stringom a tie svietili. Externým skratovaním daného bodu alebo jeho rozpojením na hardvérovej úrovni sa vyvolali jednotlivé príznaky, ktoré mohli byť zo status registra vyčítané. Tento proces je zobrazený na obrázku F.1. Hodnotu napätia na priebehu je potrebné vynásobiť 10 kvôli použitej meracej sonde x10. Na obrázku vidíme, že hodnota napätia v kludovom stave je 31,9 V. Po odpojení dôjde k zvýšeniu napätia na V_{LED} na hodnotu 40,8 V. Po zdetegovaní daného stavu obvod automaticky zatvorí daný tranzistor a prúd ďalej tečie cez neho.

Ďalší status bit, ktorý výrazne ovplyvňuje chovanie aplikácie je „dimming error“. Ide o bit, ktorý nastane v prípade požiadavky o zopnutie dvoch alebo viacerých tranzistorov. Z princípu vnútornej štruktúry obvodu NCV78343 nie je možné vykonať túto operáciu, pretože na zopnutie tranzistorov slúži kondenzátor C_{301} respektíve C_{302} , ktorý sa nabije na hodnotu V_{DD} a pripojí na hradlo tranzistora, čím sa tranzistor zopne. Ide o takzvaný plávajúci kondenzátor, ktorého funkčnosť je pokrytá ďalším status bitom CAP_UV a vyjadruje, že kondenzátor nie je správne pripojený k obvodu a nie je ho možné nabíť. Vo všeobecnosti a zo skúseností počas práce na evaluačnej doske možno povedať, že sa vo väčšine prípadov jedná o chybu skratovania kondenzátora alebo ak kondenzátor nebol dostatočne osadený.

5.5 Watchdog timer

Watchdog timer alebo timeout je ochranný mechanizmus pre zabránenie situácie, kedy nadradená aplikácia, napríklad BCM jednotka prestane komunikovať s obvodom. Obvod NCV78343 má implementovaný 250ms watchdog timer, čo znamená, že je vyžadované periodické posielanie príkazu pre reset tohto timeru. Watchdog timer je potrebný z dôvodu zabezpečenia funkčnej bezpečnosti, kedy je potrebné do určitej doby (250 ms) zareagovať na stratu komunikácie a uviesť dané funkčné svetlo do bezpečného stavu.

Reset timeru nastáva pri dvoch podmienkach:

- Periodický zápis do registra 0, to znamená priamy prístup na zopnutie/rozopnutie

tranzistora

- Periodické odosielené príkazu MAPENA, čo vyvoláva aktualizáciu nastavených ON, OFF a TR hodnôt pre tranzistor

V prípade prerušenia tohto odosielenia dôjde k nastaveniu fail stavu a tranzistory sa nastaví do vopred užívateľom definovaného stavu. Celý priebeh môžeme vidieť na obrázku G.1. Červený priebeh je komunikácia a modrý priebeh je napätie V_{LED} . Na začiatku môžeme vidieť, že je nastavený určitý algoritmus stmievania, preto nepravidelný tvar na modrej sonde. Počas tohoto procesu je pravidelne odosielený príkaz MAPENA. V čase 275,9 ms sa odoslal posledný príkaz a v čase približne 529 ms došlo k vypršaniu timeoutu. Toto zapríčinilo, že obvod vošiel do fail stavu a všetky LED-ky svietili na maximálnom jase.

6 Záver

Práca pojednáva o integrovaných obvodoch pre riadenie predných svetlometov. Popisuje technológie predných LED svetlometov a aktuálne trendy pre LED svetlomety. Zobrazuje technológie a variácie, akými sú predné svetlomety vyvíjané.

Práca ďalej popisuje riešenie od firmy ON Semiconductor na úrovni ovládania systému sérií LED použitím súčiastky NCV78343. Možnosti komunikácie s riadiacou jednotkou a príchodom nového komunikačného protokolu PXN.

V praktickej časti je zobrazený návrh evaluačnej platformy pre simuláciu obvodu NCV78343 s podporou 2 súčiastok zároveň. Platforma umožňuje simuláciu v rôznych komunikačných konfiguračných scenároch použitím CAN a LVDS zbernice. Doska taktiež obsahuje vlastný blok napájania a umožňuje napájať sériu LED konštantným prúdom, ktorý zabezpečuje v sérii zapojený zvyšujúci a znižujúci menič NCV78763.

Pri návrhu softvérovej časti bolo potrebné dbať na spôsob komunikácie. Obvod NCV78343 a jeho komunikácia je popísaná v kapitole 2.1.2. Najzložitejšou časťou bolo správne navrhnuť začiatok komunikácie, ktorá začína prerušením. Bolo potrebné zabezpečiť logickú 0 po dĺžke aspoň $11 T_{bit}$ a čo najrýchlejšie prejsť na odosielanie bytov na základe UART špecifikácie 1 start bit, 8 dátových bitov, jeden stop bit a žiaden parity bit. Daná dĺžka prerušenia sa pohybuje na základe použitej komunikačnej rýchlosti. Implementovaná verzia podporuje, že prerušenie sa vygeneruje nastavením logickej nuly na príslušný pin výstupného portu, následne sa prekonfiguruje na UART perifériu a je možné správne pracovať.

Sekcia 5.1 pojednáva o spotrebe obvodu. Bolo vykonaných niekoľko meraní, ktoré potvrdili správnosť aplikácie vo WIRED OR móde. Potvrdili sa dva základné predpoklady: očakávaný rozdiel v OTP konfiguračnom móde, kedy je neaktívna logika pre ovládanie tranzistorov a rozdiel prúdového odberu pri čítaní. Pre ďalšie uvádzané hodnoty sa berie stredná nameraná hodnota. Z tabuľky 5.1 vidíme, že po prechode do OTP konfiguračného módu sa spotreba zvýši z 8,36 mA na 9,27 mA. Ďalej môžeme pozorovať, že spotreba po prechode z OTP módu do normálneho módu sa zvýši z 9,27 mA na 9,65 mA. Ako posledné najdôležitejšie meranie je prúdová spotreba v normal móde pri komunikácii, ktorý popisuje obrázok 5.2. Táto spotreba je 18,02 mA.

Sekcia 5.2 popisuje PXN zbernicu, jej správanie pri rôznych komunikačných rýchlostiach a WIRED OR móde. Z meraní vidieť, že obvod komunikuje na všetkých rýchlostiach. Ďalšou časťou bolo zmeranie oneskorenia v PMC móde a prenose dát z UART na LVDS zbernicu. Zmerané oneskorenie je 113,8 ns. Vo WIRED OR móde pozorujeme nedefinované správanie v prípade čítania z neznámej adresy. Pre úplne odstránenie

problému je možnosť vždy poselať prerušenie o dvojnásobnej dĺžke než v normálnom móde. Pri tomto riešení je však potrebné počítať, že sa predĺži celkový čas komunikácie a to môže mať negatívny dopad na celkový chod aplikácie. Správne riešenie je testovať prichádzajúcu odpoveď a v prípade, že súčiastka neodpovedá, aplikácia odošle nové dáta s predĺženým prerušením.

Sekcia 5.3 zobrazuje a komentuje priebehy napätia pri rôznych nastaveniach striedy PWM čítača a dimovacej frekvencií. Zmeraná hodnota doby čítača pre frekvenciu 125 kHz je 8,08 ms a očakávaná vypočítaná hodnota je 8,18 ms. Táto odchýlka 92 μ s mohla nastať pri odčítaní z osciloskopu, keďže boli použité kurzory a nie presná matematická funkcia. Odchýlka je stále v tolerancií 10 % systémových hodín.

Záver kapitoly sa venuje diagnostickým status bitom a ich testovaniu. Vo väčšine prípadov ide o empirické meranie, kedy je potrebné dosiahnuť nejaký definovaný chybový stav a pozorovať, či aplikácia správne reaguje prípadne túto chybu deteguje a upozorní užívateľa. Pre ukážku bolo použité meranie rozpojenia jednej LED a následná reakcia na túto udalosť.

Evaluačná platforma je rozoslaná koncovým užívateľom a ich dodávateľským firmám z automobilového priemyslu. Výsledky merania tejto práce sú použité pre ďalšiu úpravu súčiastky.

Literatúra

- [1] Hella: *Adaptive headlights* [online]. [cit. 8.11.2018]. Dostupné z URL: <<https://www.hella.com/techworld/uk/Technical/Automotive-lighting/Adaptive-headlights-663/>>
- [2] ON Semiconductor: *ATP114, P-Channel Power MOSFET* [online]. 2013, [cit. 5.11.2018]. Dostupné z URL: <<https://www.onsemi.com/pub/Collateral/ATP114-D.PDF>>
- [3] Texas Instruments: *Body control module (BCM)* [online]. [cit. 11.04.2019]. Dostupné z URL: <http://www.ti.com/solution/automotive_central_body_controller>
- [4] Carnegie Mellon: *Fast Reactive Control for Illumination Through Rain and Snow* [online]. [cit. 8.11.2018]. Dostupné z URL: <<http://www.cs.cmu.edu/smartheadlight/index2.html>>
- [5] Texas Instruments: *Interface Circuits for TIA/EIA-644 (LVDS)* [online]. 2002, [cit. 11.11.2018]. Dostupné z URL: <<http://www.ti.com/lit/an/s11a038b/s11a038b.pdf>>
- [6] Hella: *LED Headlights* [online]. [cit. 8.11.2018]. Dostupné z URL: <<https://www.hella.com/techworld/uk/Technical/Automotive-lighting/LED-headlights-833/>>
- [7] Mazda: *Mazda Adaptive Front Lighting System* [online]. [cit. 8.11.2018]. Dostupné z URL: <http://www.mazda.com/en/innovation/technology/safety/active_safety/alh/>
- [8] ON Semiconductor: *MMSZ5242BT1G, Zener Voltage Regulators* [online]. 2015, [cit. 5.11.2018]. Dostupné z URL: <<https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MMSZ5221BT1-D.PDF>>
- [9] ON Semiconductor: *NBA3N206, 3.3 V Automotive Grade M-LVDS Driver Receiver* [online]. 2015, [cit. 4.11.2018]. Dostupné z URL: <<http://www.onsemi.com/pub/Collateral/NBA3N206S-D.PDF>>
- [10] ON Semiconductor: *NCV7344, High Speed Low Power CAN, CAN FD Transceiver* [online]. 2018, [cit. 3.11.2018]. Dostupné z URL: <<https://www.onsemi.com/pub/Collateral/NCV7344-D.PDF>>

- [11] ON Semiconductor: *NCV7685, 12 Channels 60 mA LED Linear Current Driver I2C Controllable for Automotive Applications* [online]. 2019, [cit. 14. 5. 2019]. Dostupné z URL: <<https://www.onsemi.com/pub/Collateral/NCV7685-D.PDF>>
- [12] Ing. Pavel Kostelník: *NCV78247, Řízení maticových světlometů s LED diodami* [online]. 2015, [cit. 3. 11. 2018]. Dostupné z URL: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=100791>
- [13] ON Semiconductor: *NCV78343, Series String Pixel Controller for Automotive (Front) Lighting* [online]. 2018, [cit. 3. 11. 2018].
- [14] ON Semiconductor: *NCV78763, Power Ballast and Dual LED Driver for Automotive Front Lighting 2nd Generation* [online]. 2018, [cit. 3. 11. 2018]. Dostupné z URL: <<http://www.onsemi.com/pub/Collateral/NCV78763-D.PDF>>
- [15] Daimi, K., Saed, M.F., Bone, S., Robb, J.: *Securing Vehicle's Electronic Control Units* [online]. 2016, [cit. 20. 4. 2019]. Dostupné z URL: <<https://pdfs.semanticscholar.org/e87b/1a8922c4363069d84f208c124534508164d2.pdf>>
- [16] Texas Instruments: *System power architectures in body control modules* [online]. 2018, [cit. 21. 4. 2019]. Dostupné z URL: <<http://www.ti.com/lit/wp/szzy010/szzy010.pdf>>
- [17] Texas Instruments: *Trends and topologies for automotive rear lighting systems* [online]. 2019, [cit. 14. 5. 2019]. Dostupné z URL: <<http://www.ti.com.cn/cn/lit/wp/szzy011a/szzy011a.pdf>>
- [18] Modwel, G., Rakesh, N., Mishra, K.: *Wireless body control module* [online]. 2015, [cit. 20. 4. 2019]. Dostupné z URL: <https://www.researchgate.net/publication/300416381_Wireless_body_control_module>
- [19] MissionLED: *Why Are Cars Switching to LEDs if They're Too Bright?* [online]. 2017, [cit. 22. 11. 2018]. Dostupné z URL: <<http://missionled.com/blog/cars-switching-leds-theyre-bright/>>

Zoznam symbolov, veličín a skratiek

| | |
|---------------|--|
| V_{BAT} | Napätie batérie |
| V_{DD} | Napätie pre napájanie vnútorných digitálnych častí |
| V_{LED} | Napätie LED stringu |
| AD | Analógovo-digitálny prevodník - Analog to Digital converter |
| AFS | Systém aktívnych predných svetlometov - Adaptive Front Lightning System |
| BCM | Centrálna elektronická jednotka vo vozidle - Body Control Module |
| CAN | Controller Area Network |
| CRC | Kontrola cyklickým kódom - Cyclic redundancy check |
| EBCM | Electronic Brake Control Module |
| EEPROM | Elektronicky Vymazateľná Pamäť iba pre čítanie - Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory |
| ECU | Elektronická kontrolná jednotka - Electronic Control Unit |
| ECM | Elektronická kontrolná jednotka motora - Engine Control Module |
| EMI | Elektromagnetické rušenie - Electromagnetic interference |
| HIZ | Konfigurácia so zníženou spotrebou na LVDS zbernici |
| I2C | Inter-Integrated Circuit |
| LED | Luminiscenčná dióda - Light-emitting diode |
| LDM | Modul LED driveru - LED Driver Module |
| LDO | Regulátor napätia s nízkym úbytkom - Low-dropout regulator |
| LSB | Najmenej významný bit - Least significant bit |
| LVDS | Nízkonapäťová diferenciálna linka - Low-voltage differential signaling |
| MECU | Master ECU |
| OBD-II | Diagnostic port - On-Board Diagnostic port |
| OTP | Pamäť programovateľná jedenkrát - One time programming |
| PID | Identifikácia produktu - Protected identifier |
| PMC | PXN mód - PXN mode control bit |
| PXN | PixelLight Network Protocol |
| PWM | Pulzne-šírková modulácia - Pulse width modulation |
| SCL | Sériová linka hodín - Serial Clock Line |
| SMECU | Super Master ECU |
| SDA | Sériová dátová linka - Serial Data Line |
| SPI | Sériové periférne rozhranie - Serial Peripheral Interface |
| UART | Univerzálne asynchrónne sériové rozhranie - Universal asynchronous |

receiver-transmitter

WIRED OR Dominantý bit - logická 1; Recessive bit - vysoká impedancia

Zoznam obrázkov

| | | |
|------|---|----|
| 1.1 | Spôsoby premietania svetla na vozovku [6] | 11 |
| 1.2 | Funkcie predného svetlometu [6] | 12 |
| 1.3 | Tlmené svetlá [1] | 13 |
| 1.4 | Ďialkové svetlá [1] | 13 |
| 1.5 | Použitie AFS v zákrutách [7] | 14 |
| 1.6 | Použitie AFS v prípade protiídúceho vozidla [7] | 14 |
| 1.7 | Princíp chytrého Intel svetlometu [4] | 15 |
| 1.8 | Prototyp chytrého Intel svetlometu [4] | 16 |
| 1.9 | Výsledky chytrého Intel svetlometu [4] | 16 |
| 1.10 | Blokový diagram napájania zadných svetiel [17] | 18 |
| 1.11 | Bloková schéma BCM jednotky [3] | 19 |
| 1.12 | Bloková schéma napájania BCM jednotky [16] | 20 |
| 1.13 | Bloková schéma napájania použitím LDO [16] | 21 |
| 1.14 | Bloková schéma napájania použitím znižujúceho meniča a LDO [16] | 22 |
| 1.15 | Bloková schéma napájania s pridaním zvyšujúceho meniča [16] | 22 |
| 1.16 | Systémový návrh SMECU jednotky [15] | 23 |
| 2.1 | Vnúťorné zapojenie obvodu NCV78343 [13] | 26 |
| 2.2 | Bloková schéma | 27 |
| 2.3 | LVDS v konfigurácii point-to-point [5] | 28 |
| 2.4 | LVDS v konfigurácii multidrop [5] | 29 |
| 2.5 | M-LVDS v zapojení Multinode Multipoint Half Duplex [9] | 29 |
| 2.6 | PXN protokol | 30 |
| 2.7 | LVDS rozhranie | 31 |
| 2.8 | CAN rozhranie | 32 |
| 2.9 | Systémová architektúra s použitím prvej generácie NCV78247 | 33 |
| 3.1 | 3D pohľad evaluačnej dosky | 35 |
| 3.2 | Ochrana proti prepólovaniu | 37 |
| 3.3 | Napájacia 12V vetva | 38 |
| 3.4 | LC filter | 38 |
| 3.5 | EEPROM pamäť | 39 |
| 3.6 | Pole pre ADC vstupy | 40 |
| 3.7 | Slučka pre CAN zbernicu | 41 |
| 4.1 | Aplikačné menu | 43 |
| 4.2 | Konfiguračné okno | 44 |
| 4.3 | Auto addressing proces | 45 |

| | | |
|-----|---|----|
| 4.4 | Ovládacie registre | 46 |
| 4.5 | Status registre | 47 |
| 4.6 | NCV78763 záložka | 48 |
| 5.1 | Prúdová spotreba v nečinnosti | 51 |
| 5.2 | Prúdová spotreba pri vyčítaní z druhej súčiastky | 52 |
| 5.3 | Čítanie z druhej súčiastky | 53 |
| A.1 | Bloková schéma evaluačnej dosky | 67 |
| A.2 | BOOST-BUCK schéma evaluačnej dosky | 68 |
| A.3 | NCV78343 schéma evaluačnej dosky | 69 |
| A.4 | MCU schéma evaluačnej dosky | 70 |
| A.5 | Napájacia časť schémy evaluačnej dosky | 71 |
| B.1 | Čítanie operačného módu z prvej súčiastky pri rýchlosti 125 kbps | 72 |
| B.2 | Čítanie operačného módu z druhej súčiastky pri rýchlosti 125 kbps | 73 |
| C.1 | Oneskorenie pri prenose dát z UART na LVDS zbernicu | 74 |
| D.1 | Wired or mód s krátkym prerušením | 75 |
| D.2 | Wired or mód s predĺženým prerušením | 76 |
| E.1 | Najmenšia šírka PWM pulzu | 77 |
| E.2 | Frekvencia dimovania 125 kHz | 78 |
| F.1 | Rozpojenie jednej LED v LED stringu | 79 |
| G.1 | Periodická komunikácia pre ošetrenie watchdog timeru | 80 |

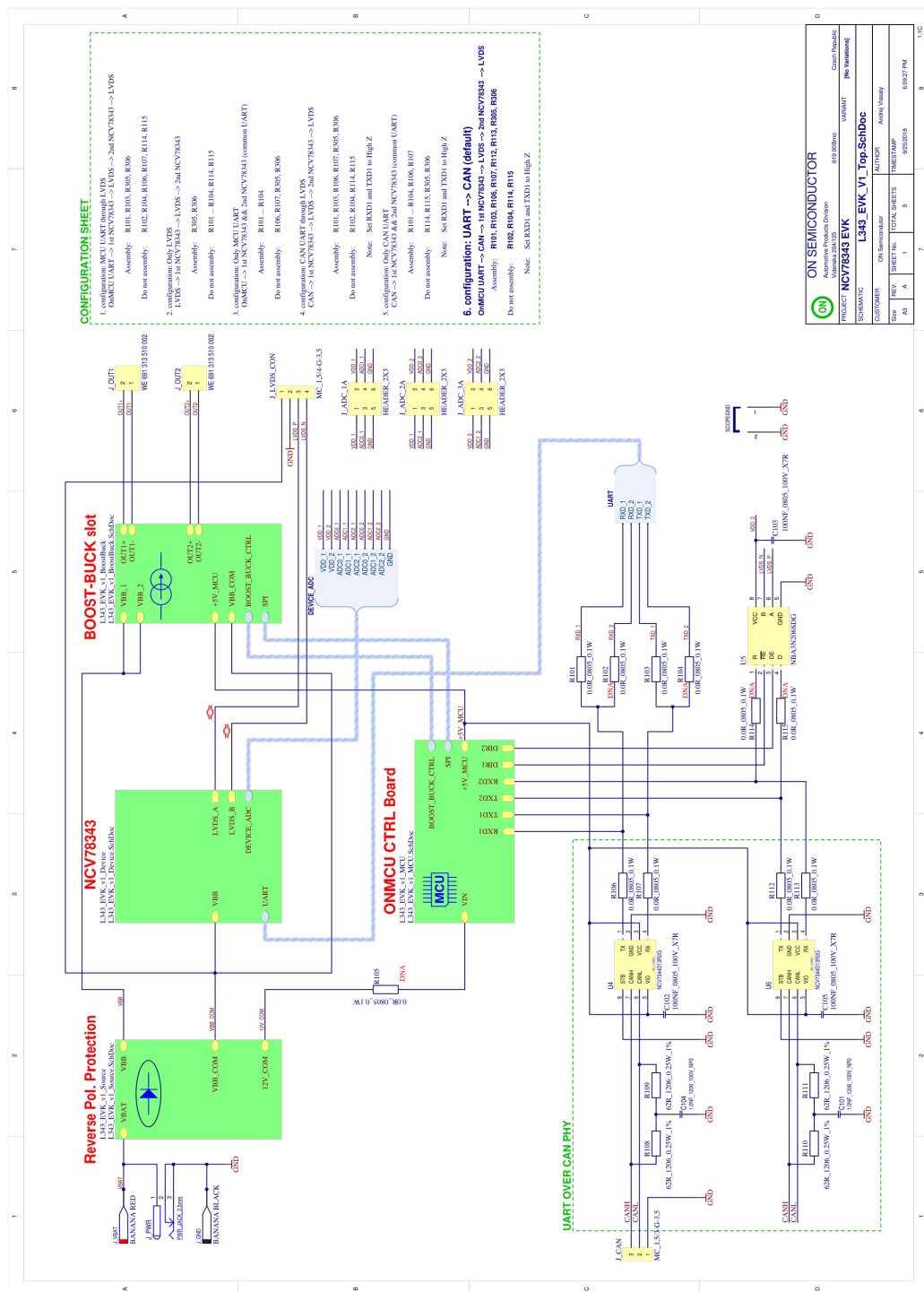
Zoznam tabuliek

| | | |
|-----|---------------------------------|----|
| 2.1 | Prevádzkové podmienky | 25 |
| 5.1 | Prúdová spotreba | 50 |

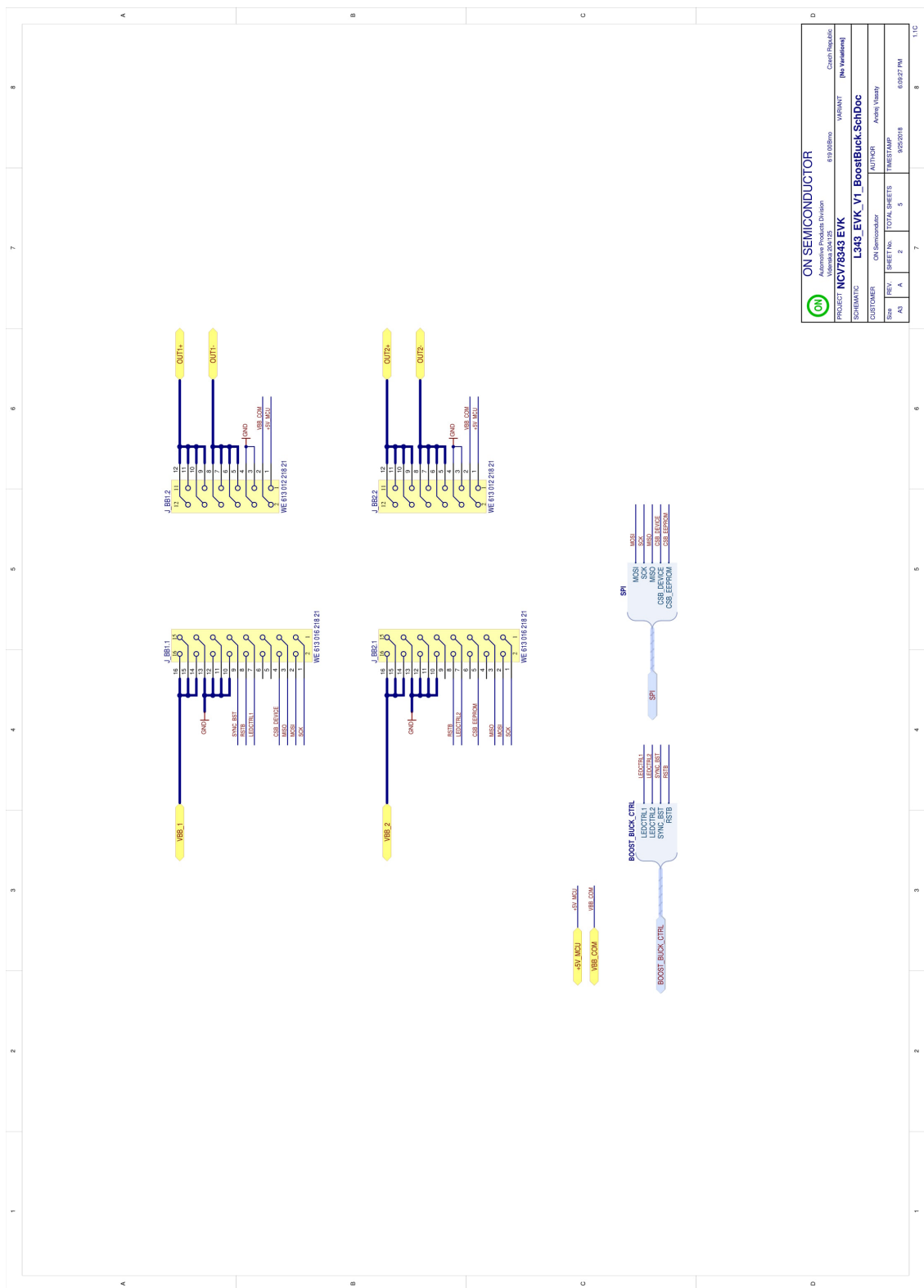
Zoznam príloh

| | | |
|---|--|----|
| A | Schéma evaluačnej dosky | 67 |
| B | Čítanie operačného módu pri rýchlosti 125 kbps | 72 |
| C | Oneskorenie dát z UART na LVDS zbernicu | 74 |
| D | Wired or mód pri predĺženom prerušení | 75 |
| E | Dimovanie jasů LED | 77 |
| F | Diagnostické bity | 79 |
| G | Watchdog timer | 80 |

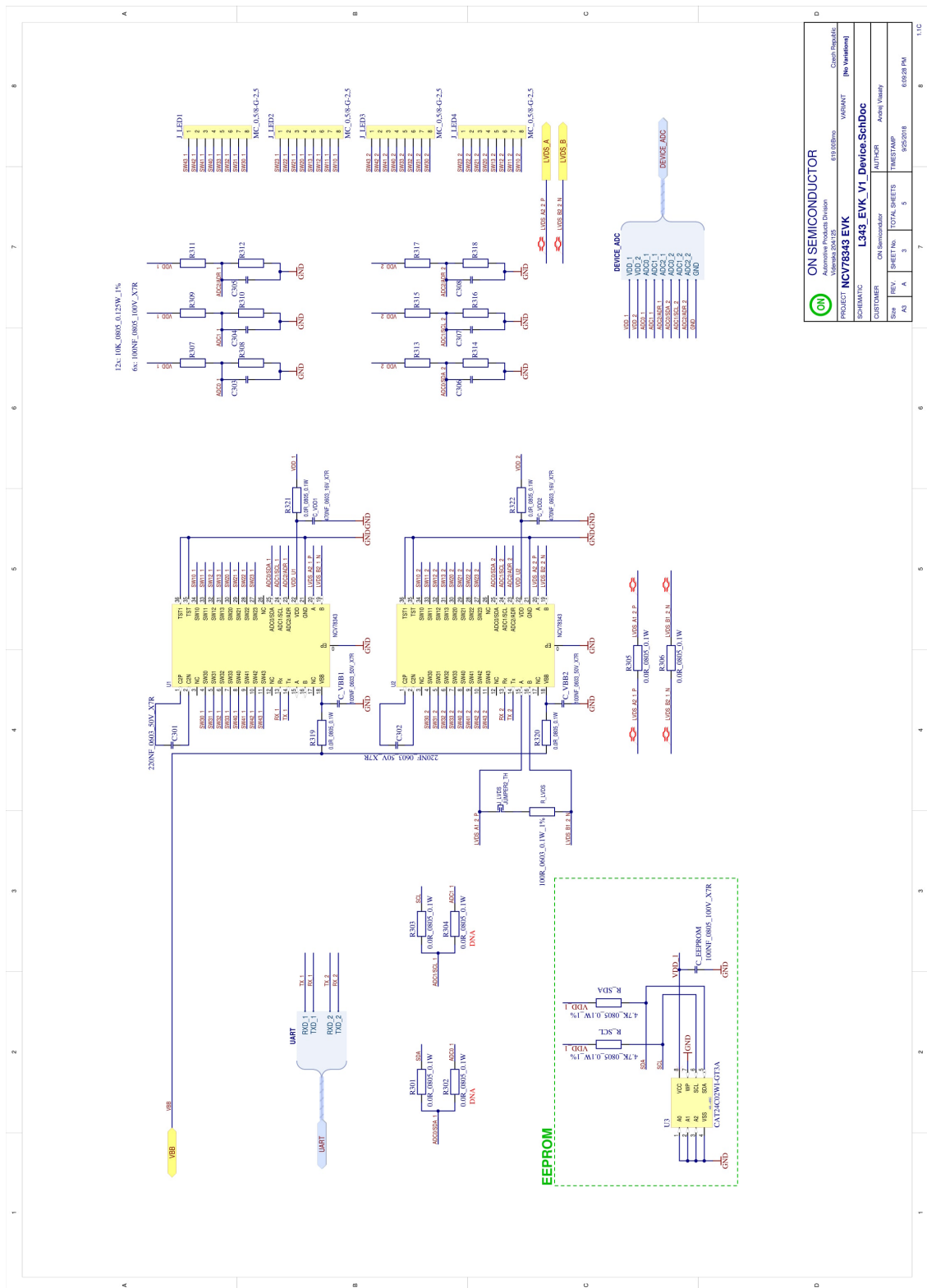
A Schéma evaluačnej dosky



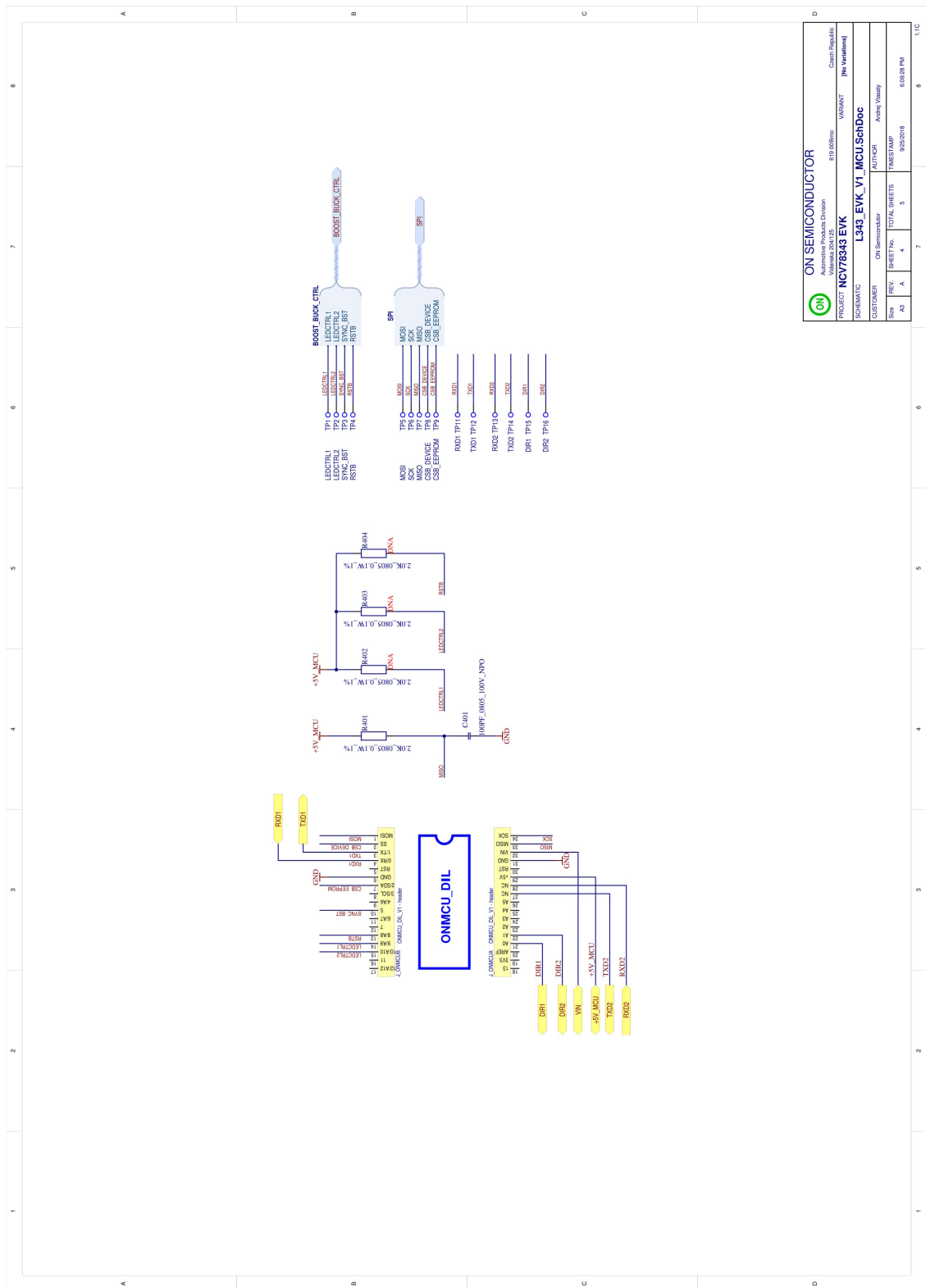
Obr. A.1: Bloková schéma evaluačnej dosky



Obr. A.2: BOOST-BUCK schéma evaluačnej dosky

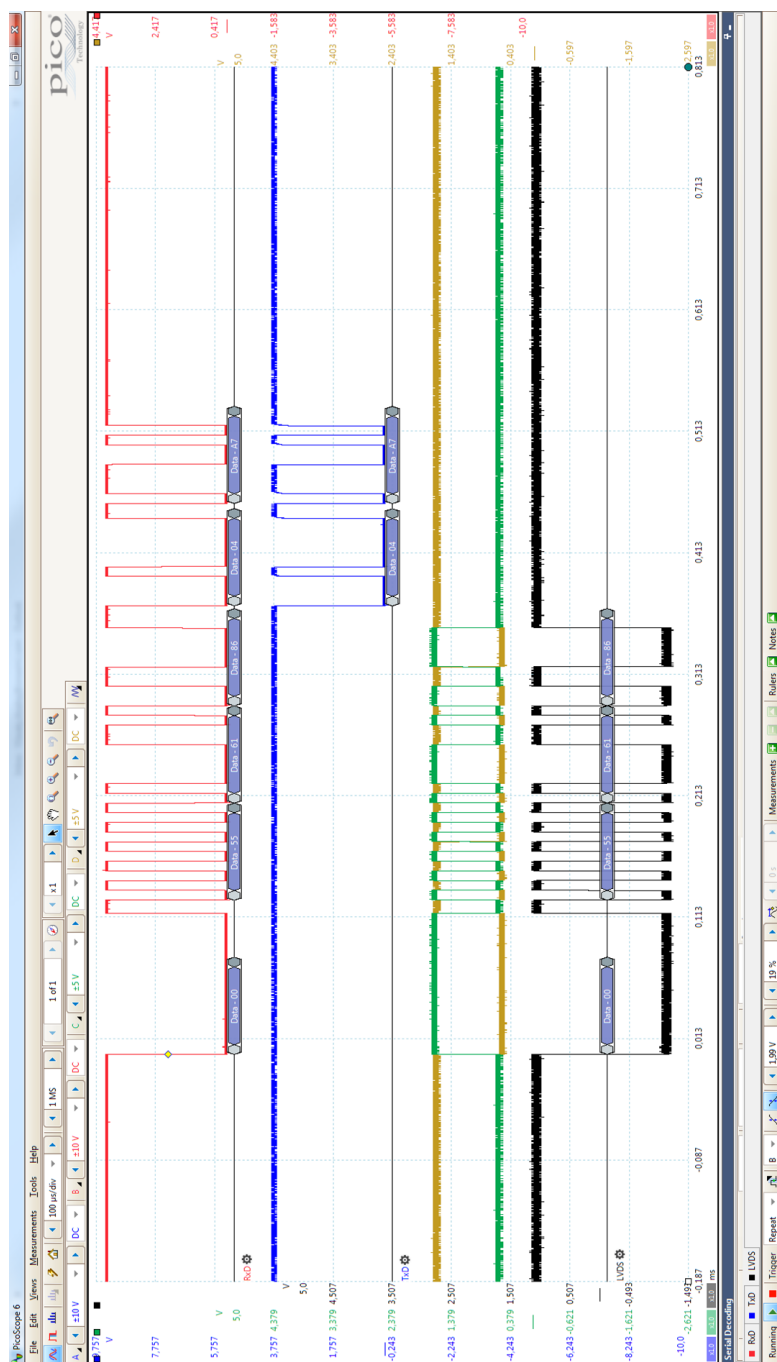


Obr. A.3: NCV78343 schéma evaluačnej dosky

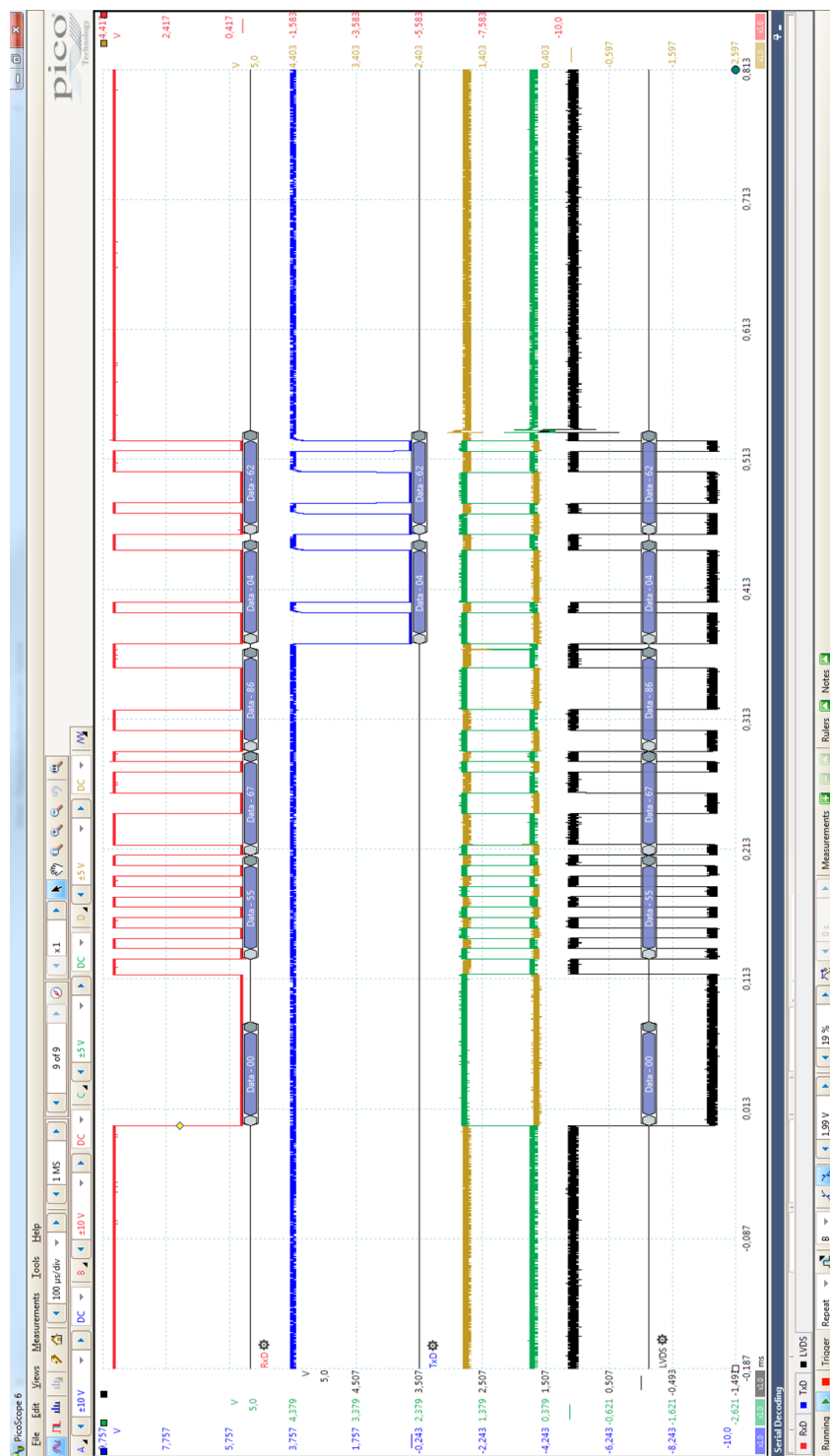


Obr. A.4: MCU schéma evaluačnej dosky

B Čítanie operačného módu pri rýchlosti 125 kbps

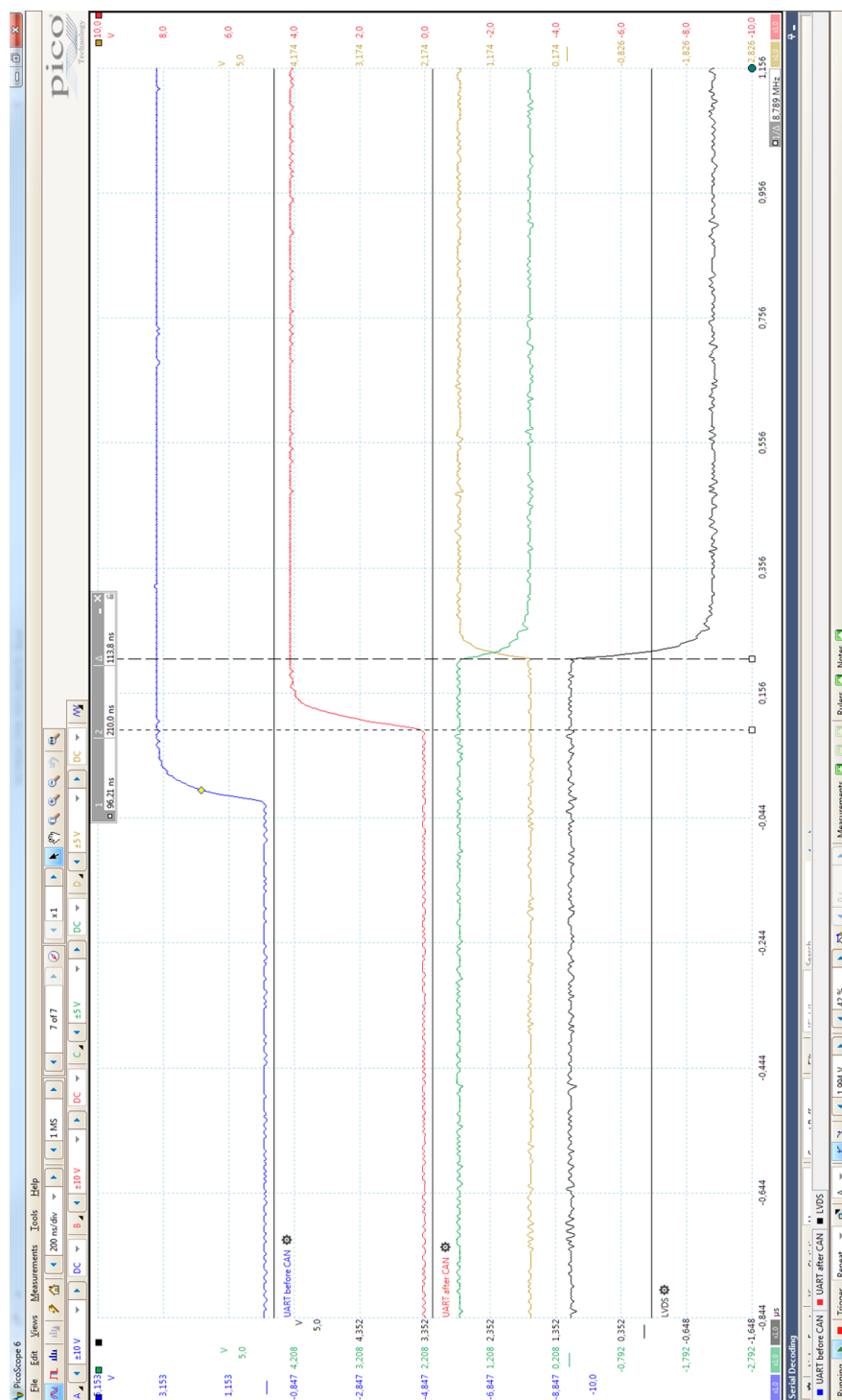


Obr. B.1: Čítanie operačného módu z prvej súčiastky pri rýchlosti 125 kbps



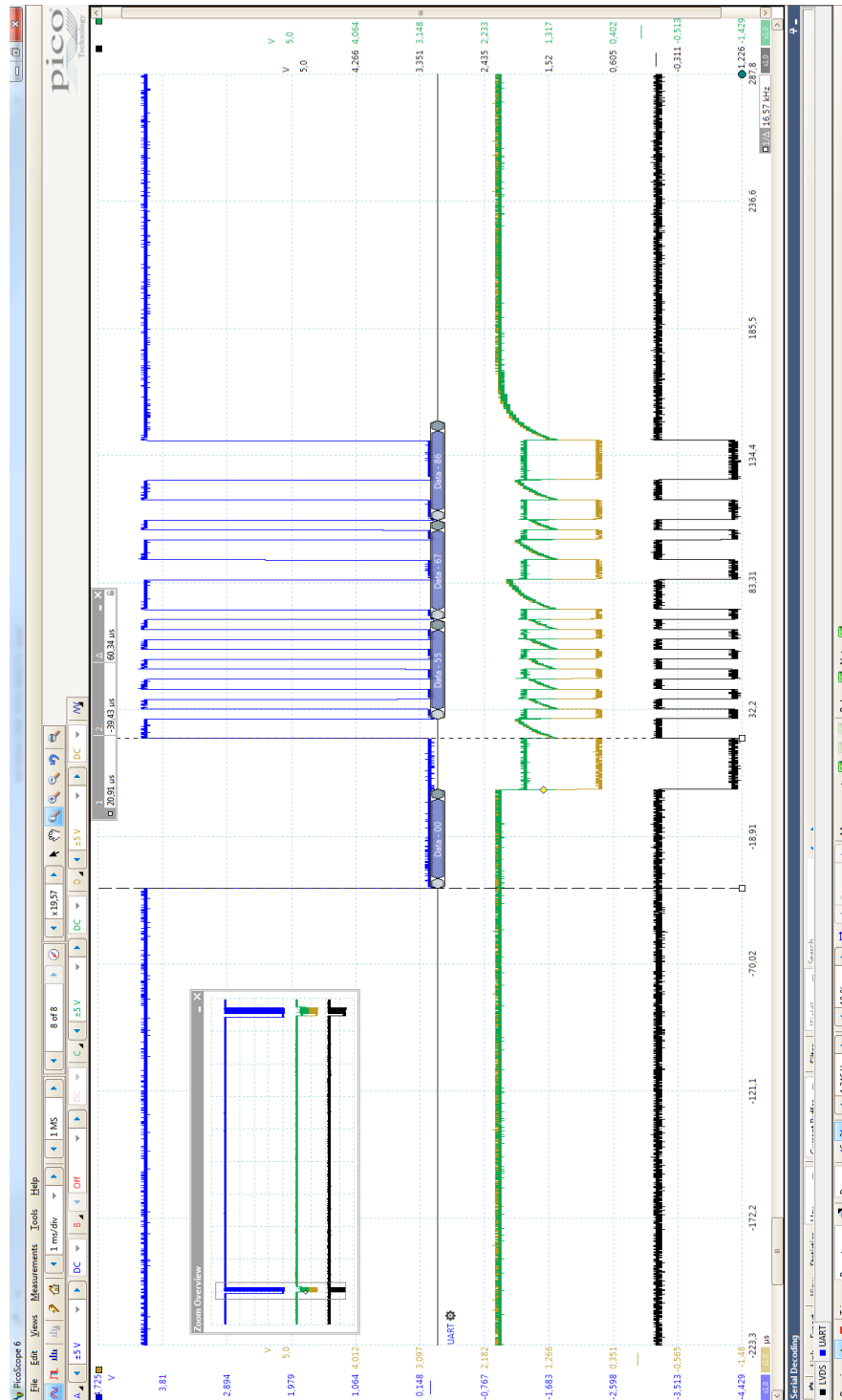
Obr. B.2: Čítanie operačného módu z druhej súčiastky pri rýchlosti 125 kbps

C Oneskorenie dát z UART na LVDS zbernicu

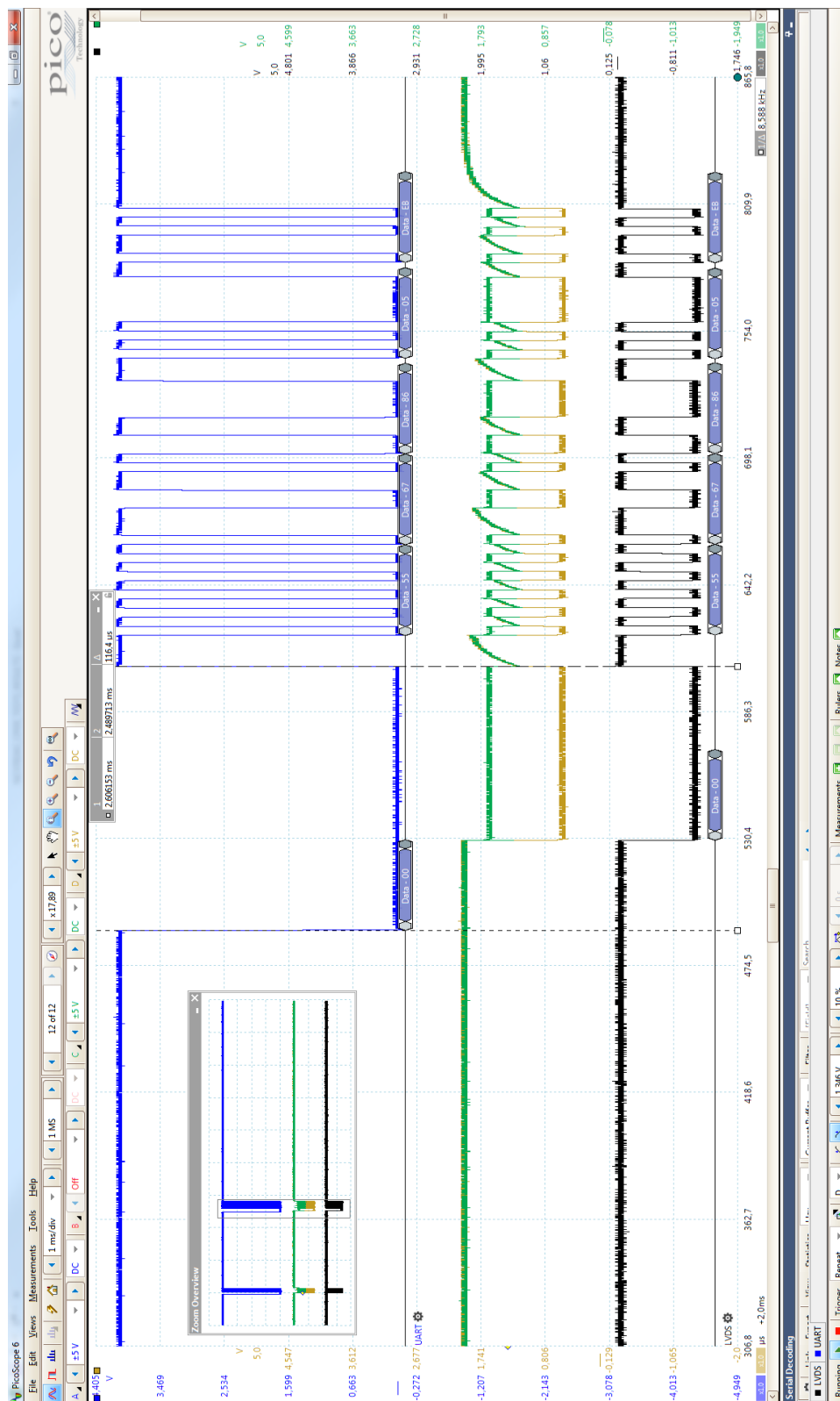


Obr. C.1: Oneskorenie pri prenose dát z UART na LVDS zbernicu

D Wired or mód pri predĺženom prerušení

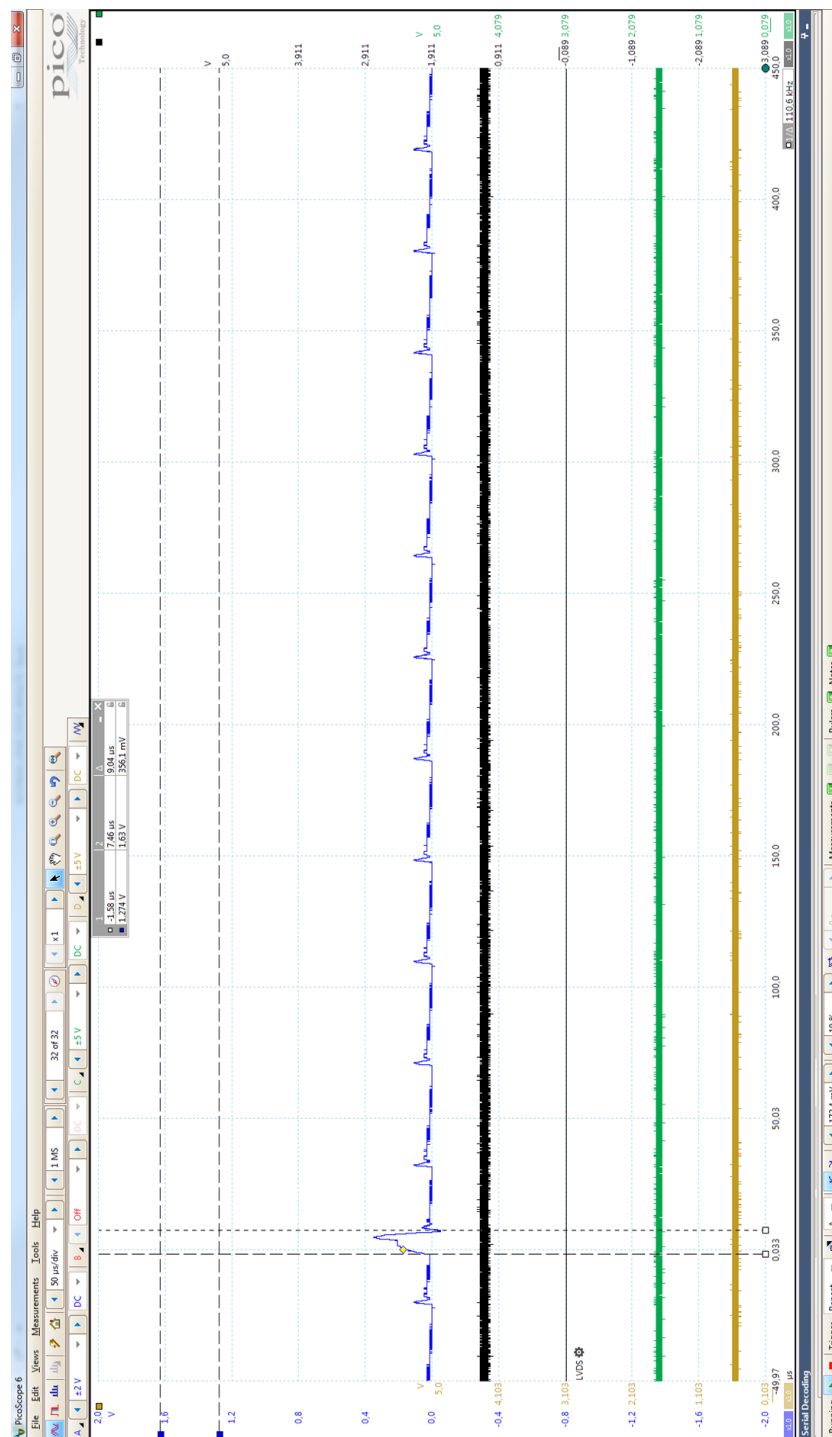


Obr. D.1: Wired or mód s krátkym prerušením



Obr. D.2: Wired or mód s predĺženým prerušením

E Dimovanie jasu LED

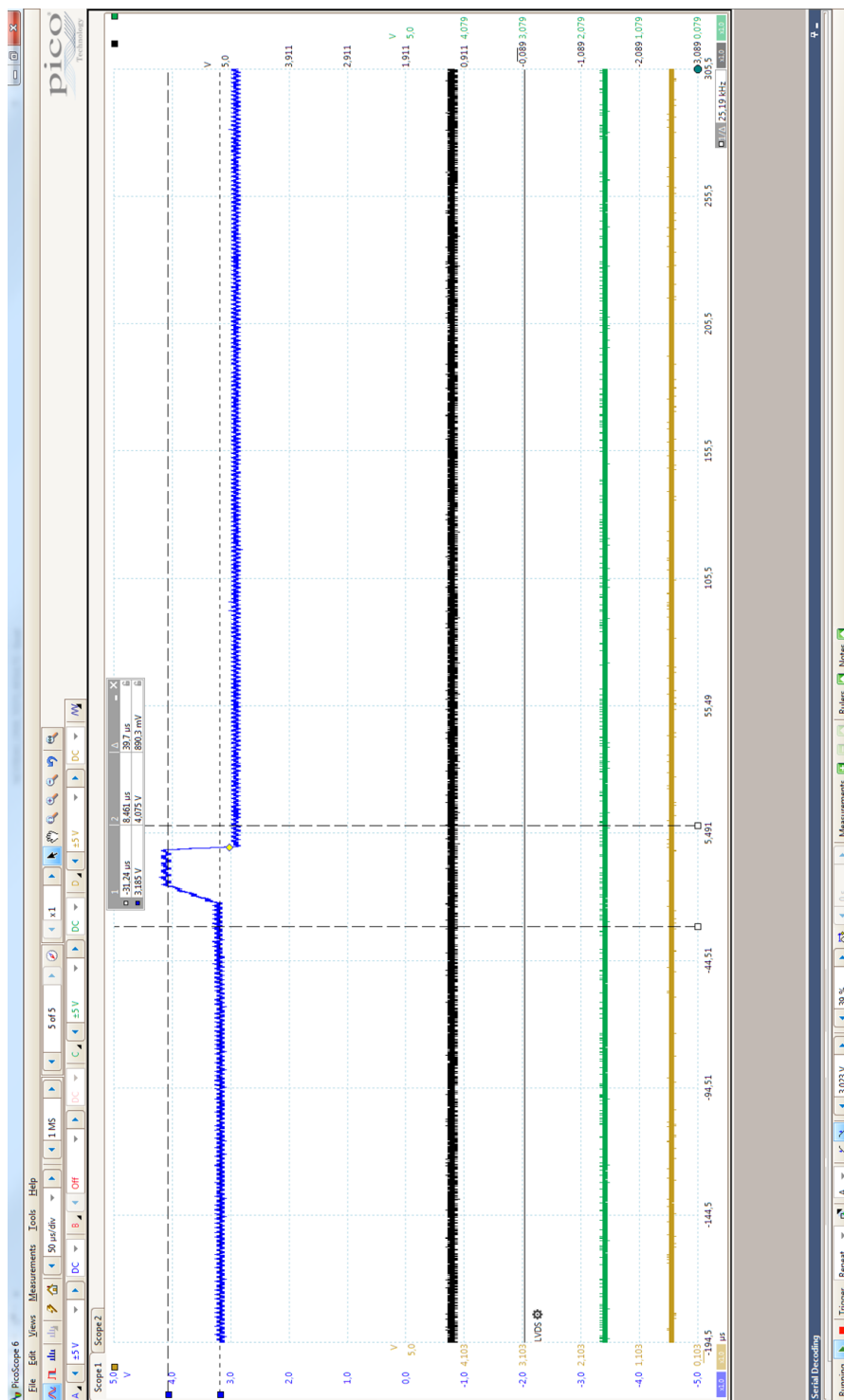


Obr. E.1: Najmenjša širka PWM pulzu



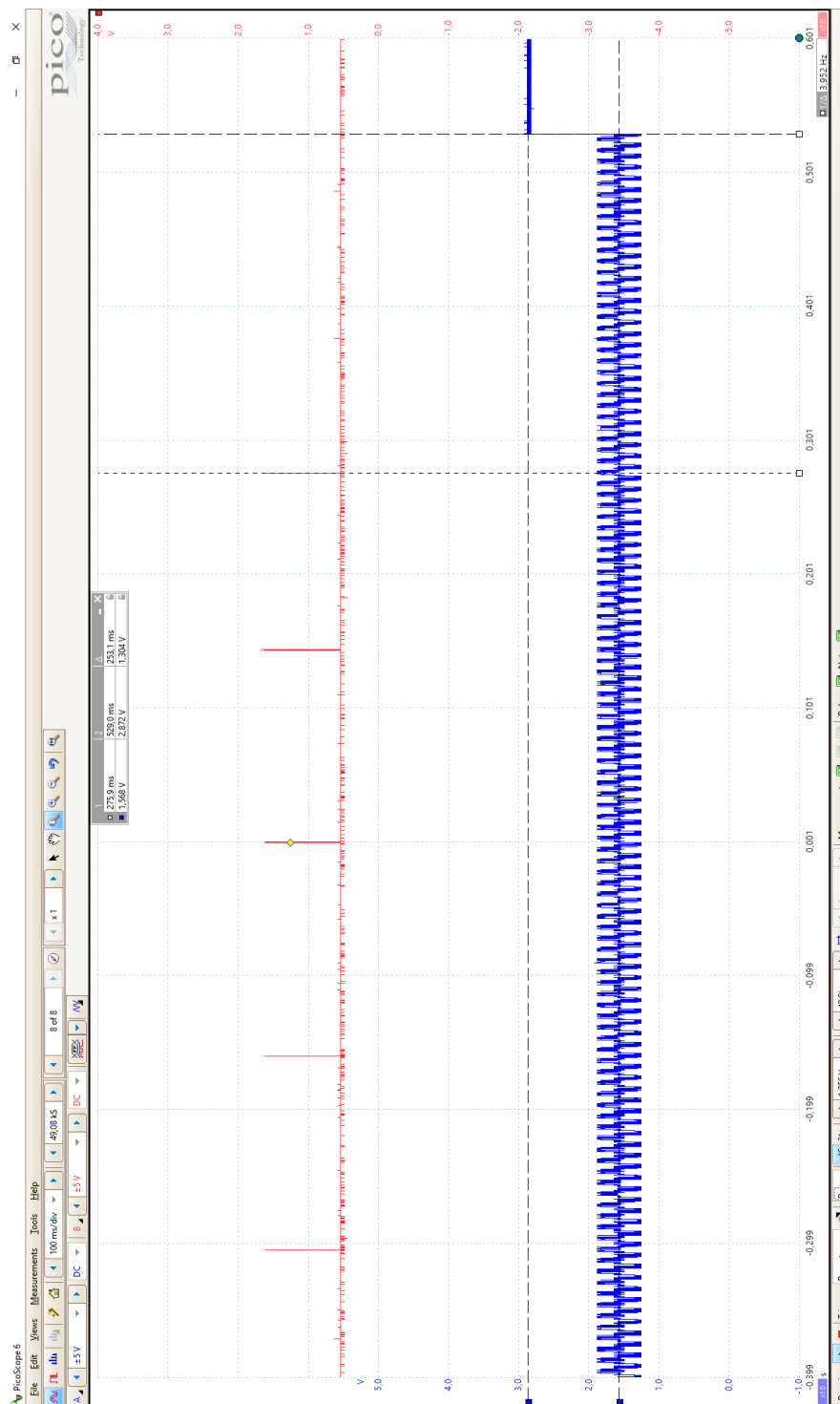
Obr. E.2: Frekvencia dimovania 125 kHz

F Diagnostické bity



Obr. F.1: Rozpojenie jednej LED v LED stringu

G Watchdog timer



Obr. G.1: Periodická komunikácia pre ošetrovanie watchdog timeru